

REPORT

Versetzungsexperimente mit Blasentang (*Fucus vesiculosus*) in der Kieler und Lübecker Bucht

Dipl. Biol. Verena Sandow
Dr. Peter Krost

RADOST-Berichtsreihe
Bericht Nr. 30
ISSN: 2192-3140



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

KLIMZUG
Klimawandel in Regionen

Kooperationspartner

	Büro für Umwelt und Küste, Kiel BfUK		Leibniz-Institut für Gewässer- ökologie und Binnenfischerei, Berlin IGB
	Geographisches Institut der Christian Albrechts-Universität zu Kiel CAU		Leibniz-Institut für Ostseefor- schung Warnemünde IOW
	Coastal Research & Management, Kiel CRM		Institut für ökologische Wirt- schaftsforschung, Berlin IÖW
	Ecologic Institut, Berlin (Koordination) Ecologic		Landesbetrieb Küstenschutz, Nationalpark und Meeres- schutz Schleswig-Holstein, Husum LKN
	EUCC – Die Küsten Union Deutschland, Warnemünde EUCC-D		Landesamt für Landwirt- schaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein LLUR
	GICON – Großmann Ingenieur Consult GmbH – Niederlassung Rostock GICON		Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg StALU MM
	H.S.W. Ingenieurbüro Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH, Rostock HSW		Universität Rostock, Fachgebiet Küstenwasserbau URCE
	Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung HZG		Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundes- forschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Braunschweig vTI
	Institut für Angewandte Ökosystemforschung, Neu Broderstorf IfAÖ		Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Wasserbau TUHH

REPORT

VERSETZUNGSEXPERIMENTE MIT BLASENTANG (*FUCUS VESICULOSUS*) IN DER KIELER UND LÜBECKER BUCHT

Dipl. Biol. Verena Sandow

Coastal Research and Management

Dr. Peter Krost

Coastal Research and Management

RADOST-Berichtsreihe
Bericht Nr. 30

ISSN: 2192-3140

Kiel, 15.09.2014

Inhalt

1	Einleitung.....	6
1.1	Ökologische Bedeutung von <i>Fucus vesiculosus</i>	6
1.2	Wiederbesiedlungsproblematik von <i>Fucus vesiculosus</i>	6
1.3	RADOST-Projekt.....	7
1.4	Projektziele	7
1.5	Projektaufbau.....	7
2	Standortauswahl	10
2.1	Kieler Bucht	10
2.2	Lübecker Bucht	12
3	Durchführung	13
3.1	Die Entnahme von <i>Fucus</i> -Steinen und leeren (Kontroll-)Steinen.....	13
3.2	Geschlechtsbestimmung der <i>Fucus</i> -Algen	14
3.3	Die Markierung der zu versetzenden Steine.....	15
3.4	Das Ausbringen der <i>Fucus</i> -Steine in der Kieler und Lübecker Bucht	15
3.5	Abschätzung des Eingriffes an der Entnahmestelle MFG5.....	17
4	Standorterweiterung in der Lübecker Bucht	18
4.1	Zusätzliche Fragestellungen, Projekterweiterung	20
4.1.1	Sedimentdynamik Lübecker Bucht	20
4.1.2	Larvenfall <i>Mytilus edulis</i>	21
4.1.3	Im Labor reproduzierte <i>Fucus</i> -Keimlinge	22
5	Ergebnisse.....	24
5.1	Zustand von <i>Fucus vesiculosus</i> 2012 bis 2014 in der Kieler Bucht	25
5.2	Zustand von <i>Fucus vesiculosus</i> 2012 bis 2013 in der Lübecker Bucht.....	29
5.3	<i>Fucus</i> -Wachstum: Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht	34
6	Entwicklung einzelner Steine	35
7	Aussaat des versetzten Blasentangs und Entwicklung der ausgesäten <i>Fucus</i>-Algen: Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht.....	39
7.1	Entwicklung der im Labor reproduzierten <i>Fucus</i> -Keimlinge: Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht	41
7.2	Sedimentdynamik Lübecker Bucht 2012 bis 2014.....	47
7.2.1	<i>Mytilus</i> -Larvenfall, Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht	49
8	Hydrographie.....	53
8.1	Kieler Bucht	53
8.2	Lübecker Bucht.....	57
9	Fazit und Ausblick.....	61
10	Literatur	64

1 Einleitung

1.1 Ökologische Bedeutung von *Fucus vesiculosus*

Der Blasentang *Fucus vesiculosus* ist eine ökologisch sehr wichtige Art im Flachwasserbereich der Ostsee. In Ermangelung von Hartsubstrat und auf Grund sich verschlechternder Wasserqualität ist *F. vesiculosus* in den 1980er Jahren zurückgegangen. Die Wiederbesiedlung ehemals bewachsener Bereiche hat sich als schwierig herausgestellt.

Fucus ist eine mehrjährige Braunalge, die in den nordeuropäischen Küstengewässern heimisch ist. In der Ostsee ist *Fucus vesiculosus* (Blasentang) bestandsbildend auf Hartsubstrat. *Fucus* bietet unzähligen kleinen Meeresorganismen Lebensraum, Schutz und Nahrung. Der Rückgang des Blasentangs seit den 1980er Jahren ist vor allem auf die Faktoren Eutrophierung (und die damit verbundene Lichtreduktion) und Steinfischerei zurückzuführen (vgl. Bock *et al.* 2003, Breuer & Schramm 1988, Karez & Schories 2005, Schwenke 1969, Vogt & Schramm 1991). Beiden Faktoren wurde in der Vergangenheit durch Verminderung der anthropogen verursachten Nährstoffeinträge bzw. Schaffung von neuen, künstlichen Hartsubstraten entgegengewirkt.

Als ökologischer Anzeiger stellt *Fucus vesiculosus* eine zentrale Funktion für den guten Zustand der Küstengewässer der Ostsee dar; das Vorkommen und die Tiefenverbreitung des Blasentangs bildet einen Bewertungsschwerpunkt für die Gewässerqualität nach der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).

1.2 Wiederbesiedlungsproblematik von *Fucus vesiculosus*

Ist ein *Fucus*-Bestand in einer bestimmten Region erloschen dauert es unter Umständen sehr lange, bis die Braunalgen dieses Gebiet wiederbesiedeln können. Denn im Gegensatz zu Arten mit pelagischen Verbreitungsstadien (wie z.B. *Saccharina latissima*) keimen die Fortpflanzungsstadien der *Fucus*-Arten nur in unmittelbarer Nachbarschaft zu ihren Mutterpflanzen; eine Ausbreitung über weite Entfernungen oder über Besiedlungsbarrieren hinweg findet nicht statt.

Dieses Phänomen hängt mit der Fortpflanzung der Fucales zusammen, die man als Oogamie bezeichnet: Die Eier sind relativ groß und unbegeißelt, sie wachsen in Oogonien heran und werden bei der Freisetzung von den viel kleineren und beweglichen Spermien befruchtet. Die befruchteten Eier sinken nur im nahen Umkreis (0,5-2 m) von der Mutteralge auf den Boden (s. Berger *et al.* 2001), wo sie sich dann im günstigen Fall auf vorhandenem Hartsubstrat ansiedeln. Für eine Wiederbesiedlung erscheint es sinnvoll, *Fucus*-Algen zu versetzen oder Ansiedlungen mit Keimlingen vorzunehmen, um auf diese Weise einen

Ausbreitungskern für eine natürliche Weiterverbreitung zu schaffen. In der Vergangenheit waren derartige Versetzungsaktionen nicht sehr erfolgreich; möglicherweise sind sie auch nicht gut dokumentiert, denn bei einer Literaturrecherche wurden keine Hinweise auf derartige Aktionen gefunden.

1.3 RADOST-Projekt

Innerhalb des KLIMZUG-Verbundes (Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten) erarbeitet das RADOST-Projekt (Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste) Strategien und Handlungsoptionen zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich der Ostsee. Der Schwerpunkt der Arbeiten des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein konzentrierte sich auf die für die Wasserrahmenrichtlinie relevanten Makrophyten Seegras und Blasentang. Innerhalb des Anwendungsprojektes „Qualitätskomponenten zur Wasserrahmenrichtlinie – Bestandsunterstützung Seegras und Blasentang“ wurden von CRM im Unterauftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein Untersuchungen zum Bestandsschutz und zum Wiederansiedlungspotential des Blasentangs durchgeführt.

1.4 Projektziele

Aufbauend auf Vorarbeiten von CRM (s. Berichte CRM 2010, 2011: Versetzung von *Fucus*-Steinen) sollen die Möglichkeiten des gezielten Verpflanzens und damit die Wiederbesiedlung eines potentiellen Lebensraumes des heimischen Blasentangs auf wissenschaftlicher Basis untersucht werden.

- I. Eignung von *Fucus vesiculosus* für eine Versetzung
- II. Verhalten von *Fucus vesiculosus* nach der Versetzung
- III. Einfluss der Temperatur auf das Verhalten von *Fucus vesiculosus* bei der Versetzung in Anbetracht der durch den Klimawandel hervorgerufenen Effekte (Kieler Bucht)
- IV. Suche nach Gründen des Verschwindens von *Fucus* in der Lübecker Bucht

1.5 Projektaufbau

Die einheimische Art *Fucus vesiculosus* wurden mitsamt den Steinen, an denen der Blasentang aufsitzt, versetzt und hinsichtlich Wachstum sowie weiterer Verbreitung über zwei Jahre lang mindestens alle drei Monate untersucht. Zusätzlich wurden unbewachsene Steine („leere Steine“/Kontrollsteine) ausgebracht, um ein mögliches Aussäen innerhalb der

zwei Vegetationsperioden zu dokumentieren. Es wurden vier Standorte in der Kieler Bucht und zwei Standorte in der Lübecker Bucht für die *Fucus*-Versetzung ausgewählt.

Die versetzten Steine wurden markiert, so dass sie bei den Tauchgängen über den gesamten Untersuchungszeitraum problemlos identifiziert werden konnten. Es musste sichergestellt werden, dass die versetzten Steine nicht auf dem Untergrund bewegt werden oder einsinken.

Der Blasentang wurde in 2 m Tiefe versetzt und hinsichtlich folgender Parameter untersucht: Überleben, Wachstum, Vitalität (Fraß, Aufwuchs, Sedimentation) und Vermehrung (Fertilität, Aussäen).

Im Rahmen des regelmäßigen Monitorings wurden die *Fucus*-Algen unter Wasser fotografiert und die Thallus-Länge mit einem Maßband gemessen. Bei mehreren Algen auf einem Stein wurde die längste Alge gemessen. Das Überleben und Wachstum der versetzten Braunalgen wurden bestimmt und der jeweilige Zustand bezüglich Fraß, Aufwuchs, Sedimentation und Fertilität mit einer siebenstufigen Skala (0=nicht vorhanden 1=wenig 2=mäßig 3=vollständig; außerdem Zwischenstufen von 0,5 / 1,5 / 2,5) quantifiziert. Für den Parameter „Fraß“ wurde das Vorhandensein von Fraßspuren abgeschätzt (Skala 0=keine Fraßspuren, 0,5=sehr wenig Fraßspuren, bis 10% abgefressen, 1=wenig Fraßspuren, 11-25%, 1,5=wenig bis mäßig viele Fraßspuren, 25-50%, 2=mäßig viele Fraßspuren, 50%, 2,5=mäßig bis viele Fraßspuren, 51-75%, 3=viele Fraßspuren, 76-100% abgefressen). Außerdem wurden die potentiellen Grazer (Meeresasseln, Strandschnecken, Flohkrebse) in ihrem Auftreten und ihrer Dichte auf dem Blasentang bestimmt (Skala 0=keine Grazer, 1=wenig Grazer, Anzahl bis 5, 2=mäßig viele Grazer, Anzahl bis 10, 3=viele Grazer, Anzahl>10). Für den Parameter „Aufwuchs“ wurden Art und Bewuchsdichte abgeschätzt (prozentuale Bedeckung von *Fucus*, Zahlen siehe oben bei Parameter „Fraß“). Beim Parameter „Sedimentation“ wurde zwischen Sand bzw. Detritus auf dem Blasentang und Sand auf den Steinen unterschieden. Für den Parameter „Fertilität“ oder Keimfähigkeit wurde der prozentuale Anteil der reifen Rezeptakel in Bezug auf die Thallusspitzen auf den ausgebrachten *Fucus*-Algen abgeschätzt (Skala siehe oben).

Die Arbeiten in der Lübecker Bucht wurden durch Sporttaucher unterstützt. Für das Monitoring wurde ein Tauchprotokoll entworfen (Tabelle 1). In der Spalte „Bemerkungen“ wurden alle besonderen Vorkommnisse (z.B. gehäuftes Auftreten von Meerasseln oder Miesmuscheln) eingetragen.

Tabelle 1: Monitoring-Tabelle für die Unterwasser-Schreibtafel, Beispiel Brodten**Standort: Brodten****Name:****Datum, Zeit:****Wetter:****Logger (TL, S): da / gesäubert/ fixiert****Sicht:****Fotos: ja/nein****leere Steine: 18, 44, 47, 50, 76, 84, 104, 108, 121, 122****Bemerkung: Fucus-Keimlinge drauf?****Skala 0 – 1 – 2 – 3**

Fucus-Steine	Sand	Aufwuchs (Algen, Moostierchen, Muscheln, Seepocken)	Fraß (Asseln, Flohkrebse, Schnecken)	Keimfähig	Länge (cm)	Bemerkung
7						
13						
58						
70						
77						
78						
88						
89						
106						
116						
119						

Die hydrographischen Standortbedingungen wurden mit autonomen Licht-, Temperatur- und Salinitäts-Loggern (HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger, HOBO U24 Conductivity Logger, Fa. onset) über den gesamten Untersuchungszeitraum dokumentiert. Licht und Temperatur wurden stündlich, die Salinität halbstündlich erfasst. Die Tiefe (2 m) wurde auf Seekarten-Null bezogen, die Pegelstandschwankungen in der westlichen Ostsee wurden nicht berücksichtigt. Die Logger-Messdaten wurden alle drei Monate ausgelesen. In der Lübecker Bucht säuberten Sporttaucher die Logger ca. alle 4 Wochen im Rahmen des *Fucus*-Monitorings, in der Kieler Bucht wurde der Aufwuchs alle 3 Monate bzw. nach Bedarf entfernt. Besonders in den Sommermonaten wurde bei starkem Algen-Aufkommen der Lichtsensor durch Aufwuchs beschattet. Die Lichtdaten sind daher nur in den ersten Tagen nach Reinigung und Ausbringen der Logger auswertbar. Die Temperatur- und Salinitätsdaten sind davon nicht betroffen.

2 Standortauswahl

2.1 Kieler Bucht

Die Standorte am Ostufer der Kieler Förde Gemeinschaftskraftwerk Kiel (GKK), Hasselfelde, Ölberg und Mönkeberg wurden für die Versetzung von *Fucus*-Steinen ausgewählt (Abb. 1).

Die ersten drei Standorte sind künstliche Steinaufschüttungen, die im Rahmen von Ausgleichsmaßnahmen geschaffen wurden (vgl. CRM 2002, 2007, 2010). Die drei Standorte sind alle ufernah und 420 bzw. 306 m voneinander entfernt (Nord-Südrichtung). An zwei (GKK, Ölberg) der drei ausgewählten Standorte befinden sich einige Meter entfernt natürliche *Fucus*-Vorkommen.

Am Gemeinschaftskraftwerk Kiel (GKK) hat CRM in den vergangenen Jahren Temperaturmessungen durchgeführt und mit den Messwerten an der eigenen Algen- und Muschelfarm, im Sperrgebiet vom ehemaligen Marinefliegergeschwader-Standort (MFG5), verglichen, die dem normalen Jahresverlauf in der restlichen Kieler Förde entsprechen (vgl. Meeresdaten vom BSH). Die Messungen am GKK ergaben eine durchschnittlich um 2 °C höhere Wassertemperatur als in den umgebenden Wasserkörpern, hervorgerufen durch das Kühlwasser des Kraftwerks. Dass die Temperaturunterschiede alleine durch den Kühlwasserausfluss des GKK verursacht werden, wurde besonders ersichtlich, als im Jahr 2011 aufgrund einer technischen Störung das Kraftwerk für 4 Monate ausfiel (Abb. 2).

Aufgrund dieser Befunde wurde angenommen, dass sich an dem Transekt der beschriebenen Standorte ein Temperaturgefälle einstellt.

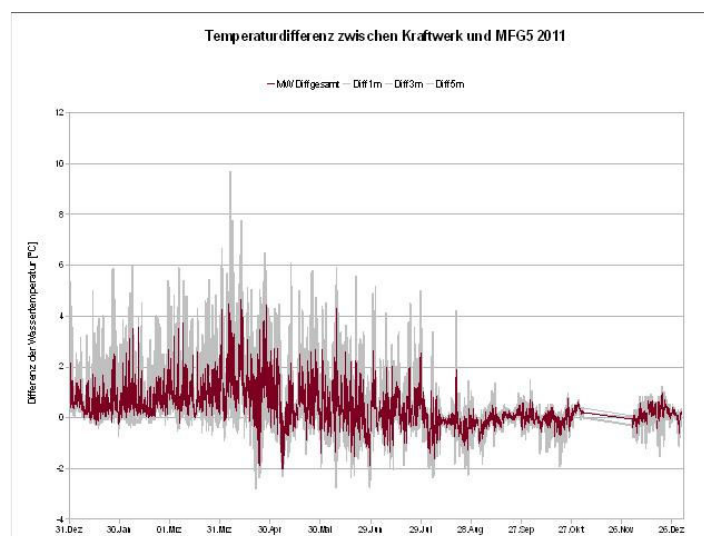


Abb. 1: Differenz der Wassertemperatur zwischen GKK und MFG5 im Jahr 2011; am 23.8.2011 fiel das Kraftwerk für 4 Monate aus

Der Standort Mönkeberg wurde als Kontrollstandort ausgewählt. Da er ca. 1,7 km vom GKK entfernt ist, wurde angenommen, dass der Kühlwasserauslauf hier keinen Einfluss mehr hat. Nahe am Ufer befinden sich einige Steine mit natürlichem *Fucus*-Vorkommen bis in ca. 1,50 m Tiefe.

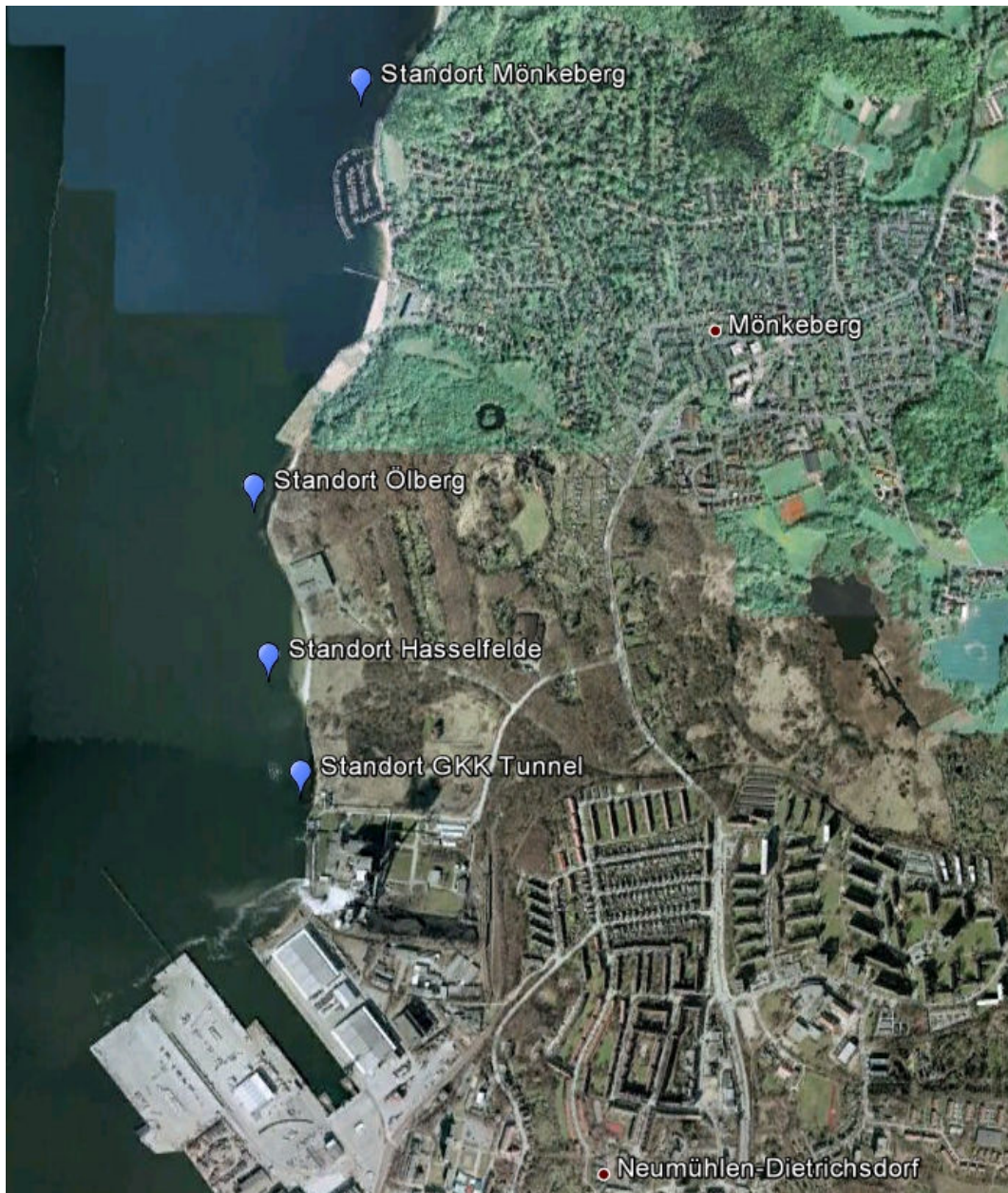


Abb. 2: Einbringungsstandorte der versetzten *Fucus*-Steine in der Kieler Bucht; Position Mönkeberg: 54°21.322'N, 10°10.622'E; Position Ölberg: 54°20.818'N, 10°10.385'E; Position Hasselfelde: 54°20.591'N, 10°10.420'E; Position GKK-Tunnel: 54°20.431'N, 10°10.473'E; Quelle: Google Earth; Bilder © 2014 AeroWest, GeoBasis DE/BKG, Kartendaten © 2014 GeoBasis DE/BKG (©2009), Google.

2.2 Lübecker Bucht

Eine weitere Steinversetzung und -Überwachung erfolgte in der Lübecker Bucht, da bekannt war, dass östlich der Insel Fehmarn der *Fucus*-Bestand drastisch reduziert ist. Reliktbestände kommen am Westrand der Lübecker Bucht (bei Neustadt), Grömitz und Niendorf (MariLim 2008) vor. Aufgrund dieser Beobachtungen wurden die Standorte Brodau und Brodtener Steilufer für das *Fucus*-Projekt ausgewählt (Abb. 3). Beide Standorte haben eine Steilküste, am Kiesstrand sind auch größere Steine zu finden, unter Wasser wechseln sich Seegraswiesen, Sandgrund mit kleineren bis größeren Steinen und am Brodtener Ufer auch Mergelflächen ab. Beim Ausbringen der Steine waren keine natürlichen *Fucus*-Algen in der Umgebung der ausgewählten Standorte (0 bis 2,50 m Tiefe) zu sehen.

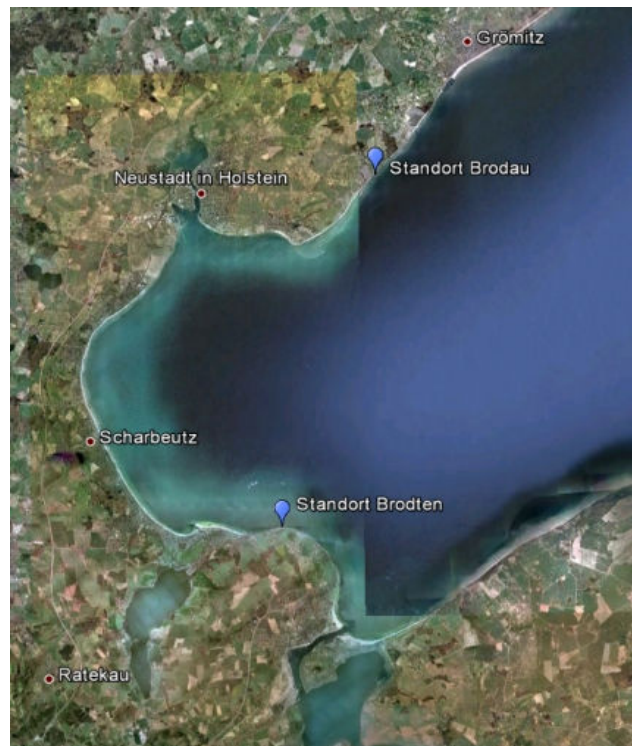


Abb. 3: Einbringungsstandorte der versetzten *Fucus*-Steine in der Lübecker Bucht; Position Brodten: 53°59.393', 10°51.190'; Position Brodau: 54°06.450'N, 10°54.425'E; Quelle: Google Earth; Bilder © 2014 Google, GeoBasis-DE/BKG, AeroWest, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, GEBCO, Landsat, Kartendaten © 2014 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google

Um das geplante vierteljährliche Monitoring zeitlich geringer aufzulösen, wurden Sporttaucher in der Lübecker Bucht kontaktiert und im Rahmen einer ganztägigen Schulung incl. zwei Tauchgängen in das *Fucus*-Projekt eingeführt. Die Sporttaucher tauchten regelmäßig (ca. alle 4 Wochen) an den beiden Standorten, reinigten die Messlogger und protokollierten den Zustand der *Fucus*-Algen, ab Juni 2013 wurden auch Unterwasserfotos aufgenommen.

3 Durchführung

3.1 Die Entnahme von *Fucus*-Steinen und leeren (Kontroll-)Steinen

Der Flachwasserbereich vor dem im Frühjahr 2013 aufgegebenen Standort des Marinefliegergeschwaders (MFG5) in Kiel-Holtenau (Abb. 4a + 4b) bot sich an zur Entnahme von einer ausreichenden Anzahl von mit *Fucus* bewachsenen Steinen.



Abb. 4a: Entnahmestelle vor dem ehemaligen Standort des Marinefliegergeschwaders (MFG5) in Kiel. Position: 54°22'31.36"N, 10° 9'35.00"E; Quelle: Google Earth; Bilder © 2014, AeroWest, GeoBasis-DE/BKG Kartendaten © 2014 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google

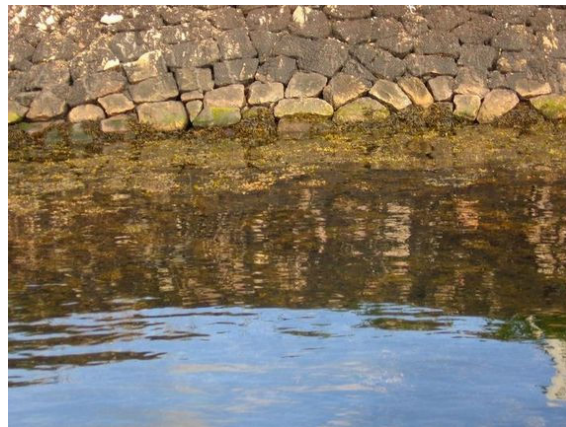


Abb. 4b: Reicher *Fucus*-Gürtel am Ufersaum vor dem MFG5-Gelände

Am 30.5.2012 wurde ein Sichtungstauchgang durchgeführt, am 13.6.2012 wurden die *Fucus*-Steine entnommen. Um eine statistisch aussagekräftige Untersuchung durchzuführen, sollten alle Ansätze in 10 Replikaten vorliegen; das ergab für 6 Standorte insgesamt 60 Steine, die am Ufer entnommen wurden. Nach 1 bzw. 2 Jahren sollte ein Übersichts-Monitoring mit Tauchern durchgeführt werden, um die Größe des Eingriffs zu beschreiben.

Am 7.6.2012 wurden außerdem 60 leere, unbewachsene Steine (Kontrollsteine) am Hundestrand in Falckenstein (Kieler Westufer) entnommen, um an den sechs Versetzungsstandorten eine mögliche Wiederbesiedlung mit *Fucus* dokumentieren zu können (Abb. 5).

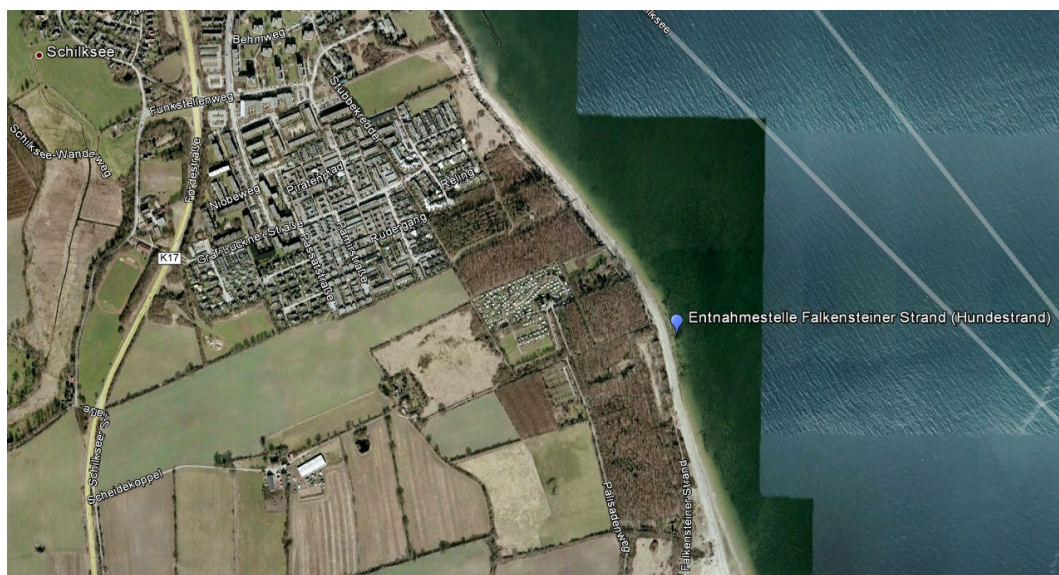


Abb. 5: Entnahmestelle der leeren Steine 2012, sowie der mit *Fucus* bewachsenen Steine 2013 und 2014 am Falckensteiner Strand, Kiel. Position: 54°24'40.63"N, 10°11'18.67"E; Quelle: Google Earth; Bilder © 2014, AeroWest, GeoBasis-DE/BKG Kartendaten © 2014 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google

3.2 Geschlechtsbestimmung der *Fucus*-Algen

Bei der Entnahme der mit *Fucus* bewachsenen Steine wurde darauf geachtet, dass die Algen gesund und kräftig waren. Möglicher Bewuchs von Miesmuscheln und fädigen Algen (Epiphyten) wurde vorsichtig entfernt. Um eine sexuelle Reproduktion der zu versetzenden *Fucus*-Steine zu gewährleisten, musste eine Geschlechtsbestimmung erfolgen, um ein passendes Verhältnis männlicher zu weiblicher *Fucus*-Algen an den verschiedenen Standorten zu erlangen. Bei den jeweils längsten Algen auf den nummerierten Steinen wurde ein Stück der angeschwollenen Keimspitzen (Rezeptakel) abgeschnitten, und unter dem Lichtmikroskop bei 100facher Vergrößerung das Geschlecht bestimmt (Abb. 6a-c).



Abb. 6a: Geschlechtsbestimmung am Mikroskop und Markierung der *Fucus*-Steine an Bord der „Pontylus“

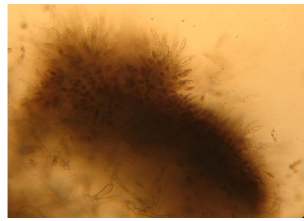


Abb. 6b: Spermatogonien von *Fucus vesiculosus*, 100x vergr.

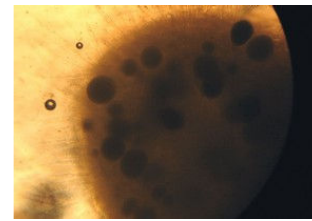


Abb. 6c: Oogonien vom *Fucus vesiculosus*, 100x vergr.

3.3 Die Markierung der zu versetzenden Steine

Die leeren Steine vom Falckensteiner Strand wurden mit heißem Wasser abgespült und gesäubert. Nachdem sie wieder getrocknet waren, wurden kleine PVC-Plättchen mit eingefrästen Nummern mit Silikon auf die Steine geklebt.

Die mit *Fucus* bewachsenen Steine wurden an einer Ecke kurz trockengeföhnt und ebenfalls mit nummerierten PVC-Plättchen markiert. Danach wurden die *Fucus*-Steine in Wannen bzw. Körbe ins Ostseewasser verbracht und einige Tage in ca. 1,50 m Wassertiefe bis zum Ausbringen an den verschiedenen Standorten am Sportboothafen vor Holtenau bzw. an der Seebadeanstalt gehalten.

3.4 Das Ausbringen der *Fucus*-Steine in der Kieler und Lübecker Bucht

Am 14.6.2012 wurden an den 4 Standorten am Ostufer der Kieler Förde je 10 leere Steine und 10 mit *Fucus* bewachsene Steine ausgebracht (Abb. 7). Dazu wurden die Steine in den Hälterungswannen transportiert und von Tauchern zum Meeresgrund gebracht. Auf einer geeigneten ebenen Fläche in 2 m Tiefe wurden die Steine vorsichtig und in zufälliger Reihenfolge auf den Boden gelegt. Um die „*Fucus*-Gärten“ unter Wasser gut finden zu können, wurde an jedem Standort ein Gullideckel mit einer orangenen Boje am Boden verbracht. An dem Gullideckel wurden auch die Temperatur- und Lichtlogger befestigt, um eine ungewollte Entnahme zu vermeiden.

Am Standort GKK wurde außerdem ein Salinitätslogger in einem Betonstein versteckt und mit Kabelbindern an den Gullideckel gebunden.



Abb. 7: Markierte *Fucus*-Steine in Hälterungswannen

Am 20.6.2012 fand das Ausbringen der Kontrollsteine und der *Fucus*-Steine an den zwei Standorten Brodau und Brodten in der Lübecker Bucht statt. An beiden Standorten wurde, wie für die Kieler Bucht beschrieben, neben den Temperatur- und Lichtloggern je ein Salinitätslogger ausgebracht (Abb. 8).



Abb. 8: Salinitätslogger (auf Betonstein) und Temperatur/Lichtlogger (auf Gullideckel) im *Fucus*-Garten

3.5 Abschätzung des Eingriffes an der Entnahmestelle MFG5

Am 25.06.2013, ein Jahr nach der Entnahme der *Fucus*-Steine, wurde der Blasentang-Bestand vor dem ehemaligen MFG5-Gelände schnorchelnd begutachtet und das Maß des Eingriffes abgeschätzt. Die *Fucus*-Algen zeigten sich gesund, fertil und in dichten Beständen. Der Eingriff durch die Entnahme von 60 *Fucus*-Steinen wurde daher als vernachlässigbar eingeschätzt.

4 Standorterweiterung in der Lübecker Bucht

Brodten2: Wegen der Versandung des angelegten *Fucus*-“Gartens“ im ersten Projekthalbjahr 2012 am Standort Brodten1 wurde nach Absprache mit dem LLUR ein neuer Standort (Brodten2), eine geeignete sandfreie Mergelfläche in 2,1 m Wassertiefe ausgewählt. Hier wurden erneut 10 mit *Fucus* bewachsene und 10 leere Steine am 13.11.12 ausgebracht (Abb. 9a+b). Die Lübecker Sporttaucher wurden informiert und untersuchten auch diesen neuen Standort alle 4 Wochen, welcher ebenfalls mit einer kleinen roten Boje dicht unter der Wasseroberfläche markiert wurde. Die Hydrographie wurde weiterhin bei Brodten1 gemessen, da die Standorte nur ca. 10 m auseinander liegen.

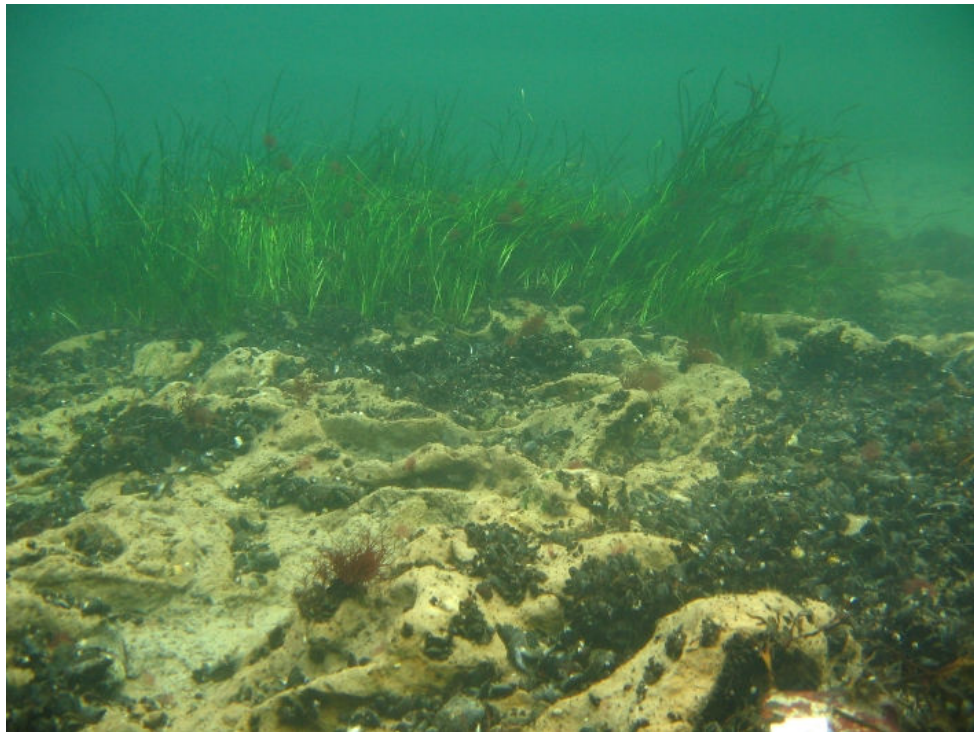


Abb. 9a: Mergelfläche und Seegraswiese, neuer Standort Brodten2



Abb. 9b: Neuer *Fucus*-“Garten“ in Brodten2 (13.11. 2012)

Brodau2: Aufgrund des Wegfraßes der ausgebrachten *Fucus*-Algen auf den Steinen im ersten Projekthalbjahr 2012 wurde auch für den Standort Brodau ein neuer Ansatz geplant und durchgeführt. Der Entnahmeort der 10 *Fucus*-Steine war diesmal der Falckensteiner Hundestrand; die Steine konnten aufgrund von Windebbe zu Fuß entnommen werden, wurden 2 Tage an der Seebadeanstalt Holtenau gehältert und am 25.04.2013 in Brodau ausgebracht. Die 11 leeren Steine vom 1. Ansatz wurden sauber gebürstet, wenn erforderlich ausgegraben und in die Nähe des neuen *Fucus*-Gartens ausgelegt. Diesmal wurden die Granit-*Fucus*-Steine mit nummerierten Kunststoffschildern markiert, welche mit Kabelbindern befestigt wurden (Abb. 10). Bei den Plättchen vom ersten Ansatz hatte sich das Silikon besonders auf den Betonsteinen gelöst.



Abb. 10: Neue *Fucus*-Steine im „Garten“ von Brodau (25.04.2013)

4.1 Zusätzliche Fragestellungen, Projekterweiterung

Während des laufenden Projekts ergaben sich weitere Fragen, denen im Folgenden nachgegangen wurde:

- a) Wie ist die Sedimentdynamik in der Lübecker Bucht?
- b) Ist *Mytilus edulis* ein Raumkonkurrent für *Fucus vesiculosus*, und resultieren die unterschiedlichen Ansiedlungs- und Wachstumserfolge von *Fucus* aus unterschiedlichen Ansiedlungsdichten von *Mytilus*?
- c) Haben *Fucus*-Keimlinge eine reelle Chance, in der Lübecker Bucht heranzuwachsen?

4.1.1 Sedimentdynamik Lübecker Bucht

Von Juni bis November 2012 wurden bei den vier Tauchuntersuchungen in Brodten1 hauptsächlich Sandauflagen registriert. Um die Sedimentdynamik genauer quantifizieren zu können, wurden am 13.11.2012 an dem wegen Versandung aufgegebenen Standort Brodten1, am neuen Standort Brodten2 und zum Vergleich in Brodau jeweils eine Eisenstange 20 cm tief in das Sediment eingehämmert und mit 10 cm-Markierungen mittels Kabelbindern versehen (Abb. 11). Bei den Monitoring-Untersuchungen wurde die Sedimentveränderung durch Abtrag mit einem Zentimeter-Maßstab an den markierten Peilstäben auf einen cm genau quantifiziert.

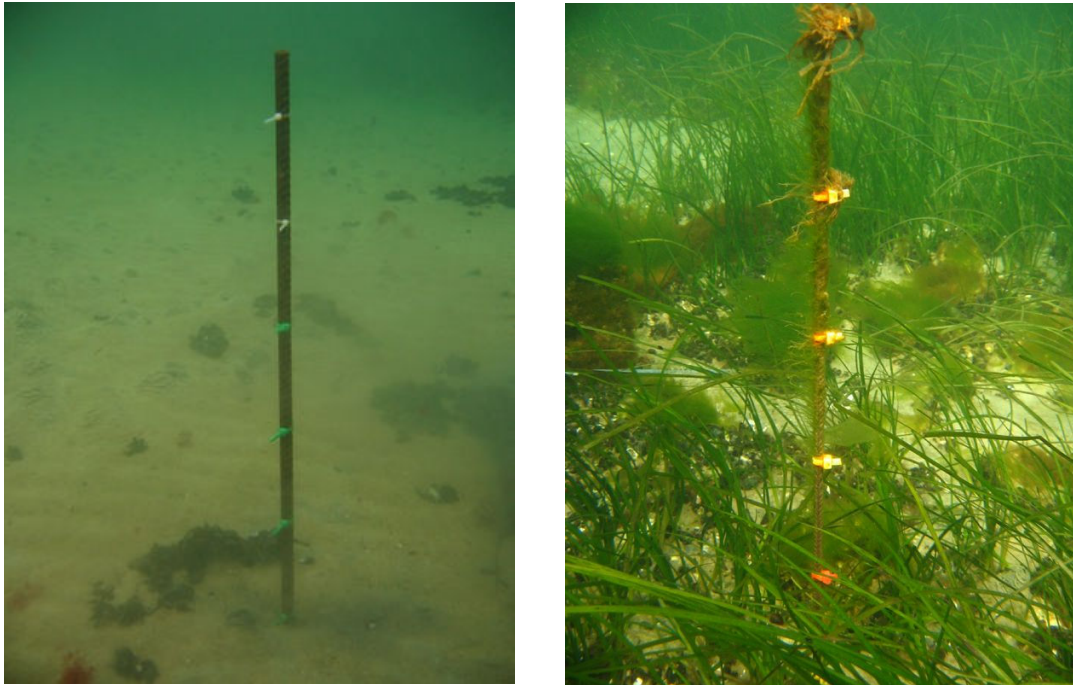


Abb. 11: Eisenstange mit 10 cm-Markierungen ins Sediment eingebracht (linkes Bild Brodten1, November 2012, rechtes Bild Brodau, April 2013)

4.1.2 Larvenfall *Mytilus edulis*

In den *Fucus*-“Gärten“ an den verschiedenen Standorten wurden vor allem in der Lübecker Bucht vermehrt Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) auf dem Sediment, den Steinen und auch auf *Fucus* gesichtet. Miesmuscheln konkurrieren mit dem Blasentang um Raum. Es wird vermutet, dass *Mytilus* das Ansiedeln von Keimlingen verhindern und als Aufwuchsorganismen das Wachstum der Braunalgen beeinträchtigen kann.

Um genauere Aussagen über das zeitliche und quantitative Auftreten von *Mytilus* treffen zu können und die Standorte in der Kieler und Lübecker Bucht zu vergleichen, wurden monatlich von Frühjahr bis Herbst 2013 Kollektorbänder an der Bojenleine von Mönkeberg (Kieler Bucht), Brodten2 und Brodau (Lübecker Bucht) in ca. 1,50 m Tiefe ausgebracht und die Muschelansiedlung auf diesen im Labor von CRM quantifiziert (Abb. 12a+b).



Abb. 12a: Kollektorband für *Mytilus*-Larven (links neu, rechts nach 4 Wochen bewachsen)

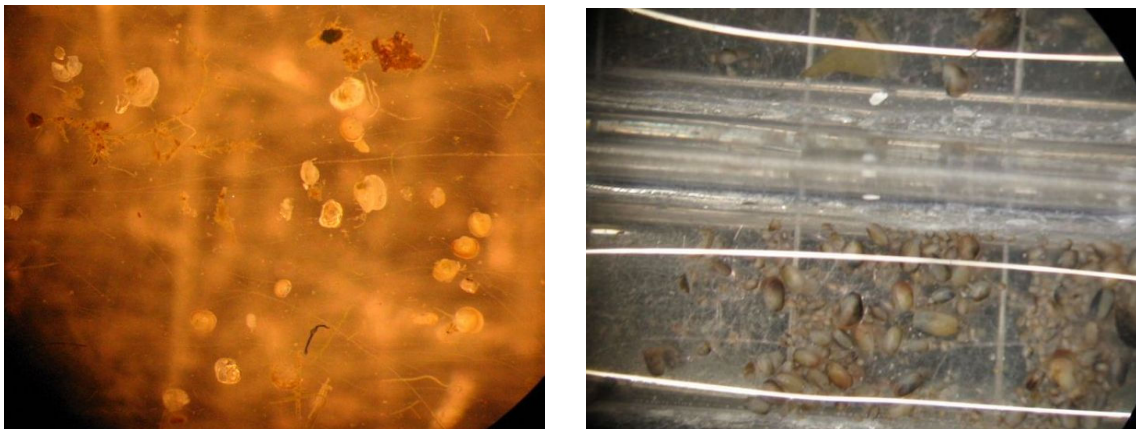


Abb. 12b: *Mytilus*-Larven bei 20facher (links) und juvenile *Mytilus* bei 12facher Vergrößerung (rechts) unter dem Binokular bei CRM (Proben aus Mönkeberg Juni und Juli 2013)

4.1.3 Im Labor reproduzierte *Fucus*-Keimlinge

An den Standorten der Lübecker Bucht gab es für die ausgebrachten *Fucus*-Algen im ersten Untersuchungsjahr aufgrund der Versandung in Brodten1 und des Fraßes in Brodau1 keine Möglichkeit sich auszusäen. Um herauszufinden, ob *Fucus*-Keimlinge bei Vorhandensein geeigneter Substrate überhaupt eine reelle Chance haben, in der Lübecker Bucht heranzuwachsen, wurden *Fucus*-Keimlinge auf Backsteinen am GEOMAR Kiel von Frau Gesche Bock im April 2013 reproduziert. Vor dem Ausbringen an den jeweiligen Standorten wurde eine Kratzprobe genommen, um den Erfolg der Reproduktion zu ermitteln, da die Keimlinge ca. 1 Woche nach dem Besäen auf dem Substrat noch nicht makroskopisch sichtbar waren (Abb. 13). Zu den 4-5 Backsteinen pro Standort wurde auch ein jeweils leerer (unbesäter) Backstein als Referenz mit auf den Gullideckel gebunden. Bei den Tauchuntersuchungen wurden Übersichtsfotos gemacht und der jeweils längste Blasentang gemessen.



Abb. 13: Im Labor reproduzierte *Fucus*-Keimlinge auf Backsteinen, am Standort Brodau ausgebracht (links); *Fucus*-Keimlinge aus Kratzprobe, 400fache Vergrößerung (rechts), April 2013

5 Ergebnisse

Die versetzten Blasentange zeigten eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität in ihrer Entwicklung an den verschiedenen Standorten (Zusammenfassung s. Tab. 2). Zunächst wuchsen die *Fucus*-Algen nach der Versetzung an allen 6 Standorten, danach wurden sie aufgrund verschiedener Ursachen reduziert. In der Kieler Bucht wurde der versetzte *Fucus* sehr stark mit Epiphyten und Epizoen bewachsen, zeigte Fraßspuren, verkümmerte dann und erholte sich im folgenden Jahr nicht mehr. Vor dieser Degradation säten sich die versetzten, reifen *Fucus*-Algen an zwei Standorten auf den Kontrollsteinen aus (Mönkeberg, Ölberg), die Keimlinge wuchsen stetig und wurden ihrerseits auch im folgenden Jahr fertil. Bezüglich der untersuchten Parameter Sedimentation (Detritus-Ablagerungen auf den Steinen und *Fucus*-Algen), Aufwuchs und Fraß (v.a. durch Strandschnecken *Littorina littorea*) wurde ein Gradient von GKK > Hasselfelde > Mönkeberg > Ölberg beobachtet. Die als Kontrollstandort ausgewiesene Station Mönkeberg unterschied sich nicht deutlich von den anderen drei Stationen.

In der Lübecker Bucht gab es kleinräumige Variationen in der Entwicklung der versetzten *Fucus*-Algen. Am Standort Brodtener Ufer versandete der Blasentang nach 5 Monaten, am neu angelegten versandungsfreien Standort (Brodt2) wurde der *Fucus* nach 11 Monaten abgefressen (v.a. durch Meeresasseln *Idotea baltica*). Am Standort Brodau verschwand der versetzte Blasentang nach 5 Monaten durch Fraßdruck, die neu ausgebrachten Steine mitsamt den *Fucus*-Algen waren nach 6 Monaten an demselben Standort unter einer Sandschicht begraben. Einhergehend mit der extremen Sedimentdynamik war auch das Vorkommen bzw. die Dichte der raumkonkurrierenden Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) auf den Steinen und *Fucus*-Algen in Brodten und Brodau auffällig.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Intensität der untersuchten Parameter an den versetzten Blasentangen in der Kieler Bucht (grau) und Lübecker Bucht von 2012 bis 2013; Zahlen=Skala 0-3

	Mönkeberg	Ölberg	Hasselfelde	GKK	Brodt2	Brodau
Sedimentation	1	0,5	2	2,5	3 (2012) 0,5 (2013)	1 (2012) 3 (2013)
Aufwuchs	1,5	1	2,5	2,5	1,5	1,5
Fraß	2	1	2	2	2 (2012) 3 (2013)	3 (2012) 2 (2013)
Fertilität	1	1	0,5	0,5	1	1
Aussäen, Wachstum Juvenile	ja (2012)	ja (2012)	nein	nein	nein (2012) ja (2013)	nein (2012) ja (2013)

5.1 Zustand von *Fucus vesiculosus* 2012 bis 2014 in der Kieler Bucht

Der Zustand der versetzten Blasentange in Bezug auf Sedimentation, Aufwuchs, Fraß, Fertilität und Wachstum in den einzelnen Projekt-Jahren wird im Folgenden für die Standorte Mönkeberg, Ölberg, Hasselfelde und GKK in der Kieler Bucht beschrieben und dargestellt (Abb. 14 a+b).

2012

Sedimentation: An den Standorten Ölberg, Hasselfelde und GKK wurde eine höhere Sedimentation (Skala 1→2) auf den Steinen und auch auf *Fucus* im Herbst als im Sommer beobachtet, am Standort Mönkeberg war der Trend gegenläufig (Skala 1→0,5). Die Sedimentation nahm allgemein in der Reihenfolge Ölberg < Mönkeberg < Hasselfelde < GKK an Stärke zu.

Aufwuchs: An allen vier Standorten waren die versetzten *Fucus*-Algen mehr im Sommer als im Herbst mit Epiphyten (fädige Grün-, Braun- und Rotalgen) und Epizoen (v.a. Muscheln, Schwämme, Seescheiden) bewachsen. Insgesamt nahm der Aufwuchs in der Reihenfolge Mönkeberg < Ölberg < GKK < Hasselfelde an Intensität zu.

Fraß: An allen Standorten, außer am Kontrollstandort Mönkeberg (gleichbleibend, Skala 2), wurden vermehrt Fraßspuren im Herbst als im Sommer am versetzten Blasentang gesehen (Skala 1→1,5), das grazing nahm in der Reihenfolge Ölberg < Hasselfelde < GKK < Mönkeberg zu. Es wurden hauptsächlich Strandschnecken (*Littorina littorea*) gesichtet, weniger häufig Meeresasseln (*Idotea baltica*).

Fertilität: An allen Standorten, außer am Ölberg (gleichbleibend, Skala 1), wurden vermehrt reife Rezeptakel am versetzten Blasentang im Sommer als im Herbst gesehen (Skala 1→0,5). Die Fertilität nahm in der Reihenfolge GKK < Hasselfelde < Mönkeberg < Ölberg zu. Dieser Trend ist auch an dem Bewuchs der leeren Steine (Kontrollsteine) mit *Fucus*-Keimlingen zu erkennen. An den Standorten Mönkeberg und Ölberg waren im Sommer die ersten kleinen Keimlinge des Blasentangs zu sehen, im Herbst waren sie schon weiter gewachsen. An den Standorten Hasselfelde und GKK wurden im ersten Projektjahr keine ausgesäten *Fucus*-Keimlinge gesichtet; hier schien die Detritusaufgabe das Aussäen und Wachsen von Keimlingen zu unterbinden.

Wachstum: Beim Sommer-Monitoring zeigte sich an allen vier Standorten ein Wachstum der ausgebrachten *Fucus*-Algen von durchschnittlich +2 cm (± 7 cm) bis +8 cm (± 5 cm), dies entsprach einem prozentualen Zuwachs von 8% ($\pm 20\%$) bis 18% ($\pm 11\%$) der ursprünglichen Längen. Beim Herbst-Monitoring fiel auf, dass die *Fucus*-Algen schon beim leichten Berühren etwas auseinanderfielen und beim Messen einige Stücke abrissen. Im Durchschnitt zeigte sich eine Längenreduktion von -2 cm (± 4 cm) bis -12 cm (± 15 cm), entsprechend -4% ($\pm 8\%$) bis -24% ($\pm 28\%$) der im Sommer gemessenen *Fucus*-Längen.

2013

Sedimentation: An den Standorten Mönkeberg und Ölberg wurde wenig Sediment oder Detritus auf den ausgebrachten Steinen bzw. *Fucus*-Algen beobachtet (Skala <1). In Hasselfelde und am GKK gab es deutlich höhere Sedimentation (Skala >1,5), auch die Sichtbedingungen waren an diesen beiden Standorten immer schlechter als an den ersten beiden. Am GKK war im Oktober 2013 ein Großteil der Steine unter einer lockeren Detritusschicht vergraben. Wie im Jahr 2012 nahm die Sedimentation auch 2013 in der Reihenfolge Ölberg < Mönkeberg < Hasselfelde < GKK zu.

Aufwuchs: An allen vier Standorten waren die stark reduzierten versetzten *Fucus*-Algen auch bei den drei Monitoring-Untersuchungen 2013 (frühes Frühjahr, spätes Frühjahr, Sommer) mäßig bis stark mit Epiphyten und Epizoen bewachsen (Skala 2-3), der pflanzliche Aufwuchs dominierte in Hasselfelde und am GKK. Insgesamt nahm der Aufwuchs in der Reihenfolge Ölberg < Mönkeberg < GKK < Hasselfelde zu.

Fraß: An allen vier Standorten wirkten die ausgebrachten adulten *Fucus*-Algen im Jahr 2013 bei allen Monitoring-Untersuchungen verkümmert und mäßig bis stark angefressen (Skala 2-3). Es wurden wie im Jahr 2012 hauptsächlich Strandschnecken an den Standorten und (in geringerer Dichte) Meeresasseln gesehen. Der Fraßdruck nahm in der Reihenfolge Ölberg < Hasselfelde < GKK < Mönkeberg zu.

Fertilität: An den Standorten Ölberg, Hasselfelde und GKK wurden im Jahr 2013 keine fertilen Spitzen bei den adulten ausgebrachten *Fucus*-Algen gesehen. Nur in Mönkeberg zeigte ein einziger Blasentang (Stein Nr. 75) am 19.6.2013 eine fertile Spitze (Rezeptakel). Im Gegensatz zu 2012 konnte im Jahr 2013 also nicht mit einer Aussaat der im vorigen Jahr ausgebrachten *Fucus*-Algen gerechnet werden. Einzelne kleine *Fucus*-Keimlinge in

Mönkeberg und am Ölberg könnten der Vermehrung der ausgesäten *Fucus*-Algen (von 2012) zugeschrieben werden. In Hasselfelde wurden beim Sommer-Monitoring 2013 auf fünf ausgebrachten Steinen, am GKK auf drei Steinen einzelne kleine *Fucus*-Keimlinge gesichtet.

Wachstum: Beim ersten Frühjahrsmonitoring im April bzw. Mai 2013 waren die *Fucus*-Längen um -13 cm (± 11 cm) bis -34 cm (± 5 cm) reduziert, verglichen mit dem Herbstmonitoring im November 2012. Dies entspricht einer Längenabnahme von -30% ($\pm 20\%$) bis -82% ($\pm 18\%$). Zwei Monate später (Juni 2013) betrug die Längen-Reduktion -9 cm (± 12) bis -17 cm (± 15) bzw. -20% (± 36) bis -42% (± 40). Beim Sommermonitoring im August waren die *Fucus*-Algen in ihrer Länge um -8 cm (± 3) bis -27 cm (± 8) reduziert bzw. um -32% (± 49) bis -84% (± 21).

Insgesamt überlebten am Standort Mönkeberg von Juni 2012 bis August 2013 8 von 10 ausgebrachten *Fucus*-Algen, in Hasselfelde und am GKK nur jeweils einer, am Ölberg zwei. Im November 2013 wurde nur noch am Standort Ölberg ein adulter Blasentang gesichtet, an den anderen Standorten waren die 2012 ausgebrachten *Fucus*-Algen vollständig verschwunden.

Am Standort Ölberg fiel das erste Frühjahrs-Monitoring 2013 aus, da der Gullideckel mit dem Messlogger, sowie die darum ausgebrachten Steine zuerst nicht wiedergefunden wurden. In der Nähe sind Reusenfischer unterwegs, die möglicherweise den Gullideckel samt Boje versetzt haben. Nach zwei erfolglosen Such-Tauchgängen im April und Mai wurde der Standort zum zweiten Frühjahrs-Monitoring am 19.6.2013 wiedergefunden, es konnten fünf der 10 ausgebrachten *Fucus*-Steine begutachtet und die Algen gemessen werden. Ein neuer Temperatur- und Lichtlogger wurde auf einem Betonstein ausgebracht, auf eine markierende Boje wurde verzichtet.

2014

An den Standorten Mönkeberg und Ölberg wurde im ersten Frühjahrs-Monitoring 2014 nur jeweils ein adulter, verkümmerter *Fucus* gefunden. Wenig Aufwuchsalgen und geringe Fraßspuren waren an den juvenilen *Fucus*-Algen zu sehen, die sich von den ausgebrachten Blasentangen 2012 auf den Kontrollsteinen ausgesät hatten; diese zeigten weiterhin positive Wachstumsraten, bildeten Rezeptakeln aus und wurden fertil. Die Ergebnisse der Entwicklung dieser *Fucus*-Juvenilen sind in Kapitel 7 dargestellt.

An den Standorten Hasselfelde und GKK waren im letzten Projektjahr 2014 keine adulten oder juvenilen *Fucus*-Algen mehr vorhanden. Hier waren die ausgebrachten Steine weiterhin stark von fädigen Algen und Detritus bedeckt.

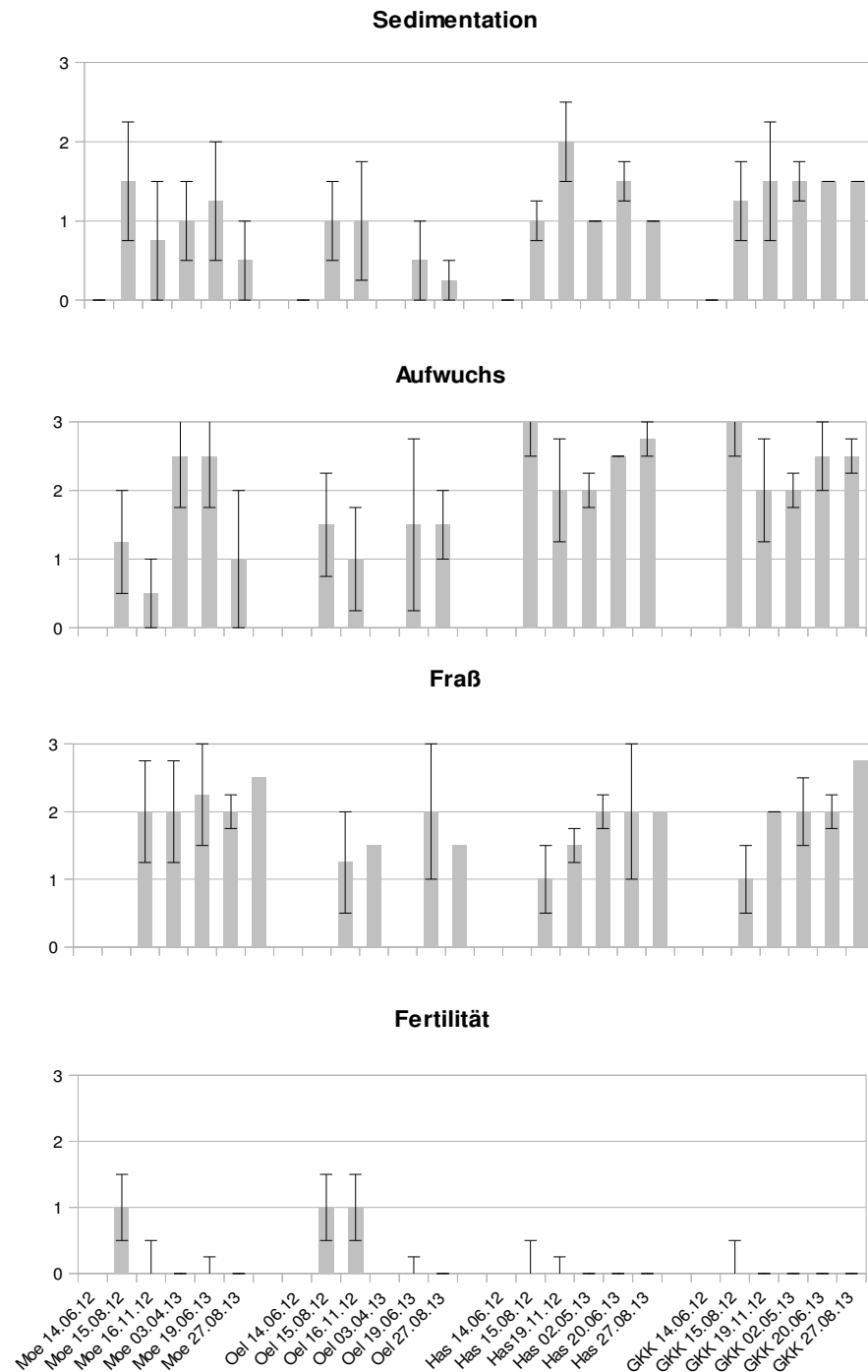


Abb. 14a: Sedimentation, Aufwuchs, Fraß und Fertilität der versetzten *Fucus*-Algen in der Kieler Bucht 2012-2013 an den Standorten Mönkeberg (Moe), Ölberg (Oel), Hasselfelde (Has) und GKK, Skalen von 0 (nicht vorhanden) bis 3 (vollständig). Dargestellt sind Mediane mit Spannweiten (range; n siehe Zahlen in Abb. 14b)

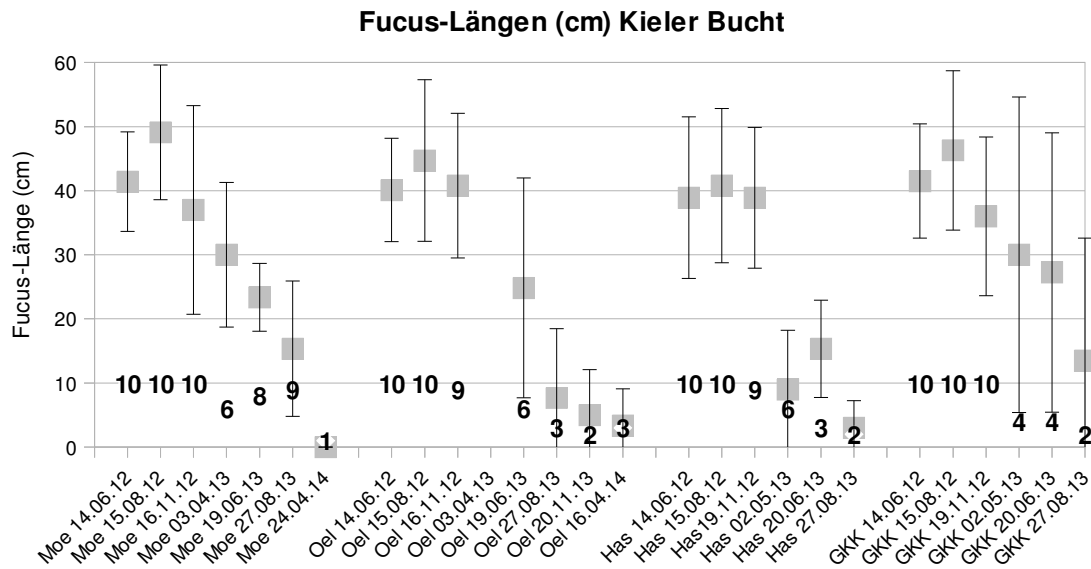


Abb. 14b: *Fucus*-Längen in der Kieler Bucht von Juni 2012 bis April 2014 an den Standorten Mönkeberg (Moe), Ölberg (Oel), Hasselfelde (Has) und GKK; Mittelwerte und Standardabweichungen. Die Zahlen zeigen die Anzahl der gefundenen *Fucus*-Steine

5.2 Zustand von *Fucus vesiculosus* 2012 bis 2013 in der Lübecker Bucht

Der Zustand der versetzten Blasentange in Bezug auf Sedimentation, Aufwuchs, Fraß, Fertilität und Wachstum in den einzelnen Projekt-Jahren wird im Folgenden für die Standorte Brodten und Brodau in der Lübecker Bucht beschrieben und dargestellt (Abb. 15 a + b).

2012

Sedimentation: Am Standort Brodten1 waren schon 6 Wochen nach der Versetzung, beim ersten Sommer-Monitoring im Juli 4 von 11 *Fucus*-Steinen vollständig versandet und konnten nicht wiedergefunden werden. Bei anderen ragte nur der *Fucus* heraus, welcher mitsamt seinem Stein vorsichtig ausgegraben wurde, ebenso beim zweiten Sommer-Monitoring im August. Beim ersten Herbst-Monitoring im Oktober wurden die fünf übriggebliebenen Steine mitsamt den *Fucus*-Algen der Versandung überlassen. Beim zweiten Herbst-Monitoring im November ragte nur noch ein *Fucus* aus dem Sediment; alle Steine waren vollständig versandet.

Am Standort Brodau wurde nur beim zweiten Herbst-Monitoring eine geringe Sandauflage (Skala 1,5) auf den ausgebrachten *Fucus*-Steinen gesehen, der Blasentang war hingegen vollständig verschwunden (Wegfraß, s.u.).

Aufwuchs: Der Bewuchs mit ephiphytischen Algen (v.a. *Pylaiella littoralis*) und juvenilen epizoischen *Mytilus* war im Sommer und Herbst am Standort Brodten1 mäßig (Skala 1,5). Am Standort Brodau war der Bewuchs im Sommer etwas stärker (Skala 2); im Herbst war wegen der Längenreduktion bzw. des Verschwindens von *Fucus* kein Aufwuchs mehr zu sehen. Die zahlreich vorhandenen Miesmuscheln saßen nun dicht auf allen versetzten Steinen.

Fraß: Die *Fucus*-Algen auf den 7 wiedergefundenen versetzten Steinen am Standort Brodten1 hatten beim ersten Sommer-Monitoring mäßig viele Fraßspuren (Skala 2), die 5 *Fucus*-Algen beim zweiten Sommer- und ersten Herbst-Monitoring zeigten geringere Fraßspuren (Skala 1,5). Der einzig wiedergefundene *Fucus* beim zweiten Herbst-Monitoring hatte viele Fraßspuren (Skala 2,5).

Am Standort Brodau nahm der Fraß am versetzten Blasentang ständig zu (Skala ab 1,5), bis beim zweiten Herbst-Monitoring am 13.11.2012, nach 5 Monaten Projekt-Laufzeit, kein einziger *Fucus* mehr auf den Steinen zu sehen war. Als Haupt-Grazer wurden Meeresasseln gesichtet, vereinzelt auch Flohkrebse (Amphipoden).

Fertilität: Bei den zwei Sommer-Untersuchungen in Brodten1 waren nur auf 3 bzw. einem *Fucus* fertile Rezeptakel zu sehen. In Brodau wurden nur beim ersten Sommer-Monitoring auf 4 *Fucus*-Algen fertile Spitzen gesichtet. Auf den leeren Steinen (Kontrollsteine) hatten sich keine *Fucus*-Keimlinge angesiedelt.

Wachstum: Bei den zwei Sommer-Untersuchungen zeigten die 11 bzw. 6 wiedergefundenen *Fucus*-Algen in Brodten1 eine durchschnittliche Längen-Reduktion von -16 (± 23) cm bzw. -7 (± 12) cm (entspricht -33 [± 24] % bzw. -24 [± 45] %), in Brodau waren alle 9 ausgebrachten *Fucus*-Algen um -6 (± 9) cm bzw. -21 (± 17) cm reduziert (entspricht -13 [± 20] % bzw. -60 [± 37] %). Nur jeweils 3 *Fucus*-Algen in Brodten1 und 2 bzw. ein *Fucus* in Brodau waren gewachsen. Bei den zwei Herbst-Untersuchungen betrug die Längen-Reduktion der 5 wiedergefundenen Blasentange in Brodten1 -11 (± 11) cm bzw. -22 (± 14) cm (entspricht -27 [± 24] % bzw. -83 [± 38] %). In Brodau waren die 8 *Fucus*-Algen im September um -7 (± 6) cm in ihrer Länge reduziert (entspricht -55 [± 31] %), im November waren sie komplett abgefressen (-100%).

2013

Sedimentation: Der Standort Brodten1 wurde nach 5 Monaten im November 2012 aufgegeben, da alle ausgebrachten *Fucus*-Steine versandet waren. Am neuen Standort Brodten2 wurde im Jahr 2013 nur eine leichte Sedimentation (Skala 1) auf den *Fucus*-Steinen festgestellt.

Der zweite Ansatz am Standort Brodau zeigte von April bis September 2013 zunächst ebenfalls nur eine geringe Sedimentation (Skala 0,5). Bei der Tauchuntersuchung am 10.11.2013 waren hingegen alle ausgebrachten Steine vom ersten und zweiten Ansatz vollständig von einer Sandschicht begraben (Skala 3).

Aufwuchs: Im April 2013 war der *Fucus*-„Garten“ in Brodten2 von Grünalgen (*Ulva spec.*) überwuchert. Das Ausbringen neuer *Fucus*-Steine in Brodau erfolgte zu demselben Zeitpunkt, allerdings auf einer algenfreien Sandfläche; neben *Ulva* befand sich auch *Pylaiella* auf den alten Steinen. Von Juni bis September saßen fädige Braun- und Rotalgen (*Ceramium spec.*), sowie juvenile *Mytilus* in geringerer Dichte auf dem Blasentang und Steinen in Brodau2 als in Brodten 2 (Skala 1 bzw. 2).

Fraß: In Brodten2 wurden bei den Monitoring-Untersuchungen sehr viele Meeresasseln und Flohkrebse (Skala 3), sowie entsprechende Fraßspuren auf dem versetzten Blasentang gesichtet; am 27.10.2013 waren keine adulten *Fucus*-Algen mehr auf den ausgebrachten Steinen zu sehen.

Beim zweiten Ansatz in Brodau herrschte im Frühling und Sommer 2013 ein geringer (Skala 1), im September ein mäßiger Fraßdruck (Skala 2) bis zur Versandung im November (Skala 3, s.o.).

Fertilität: In Brodten2 waren im April und Juni 2013 einige Blasentange fertil (welche im November 2012 ausgebracht wurden und damals noch nicht fertil waren), in Brodau2 behielten die neu ausgebrachten *Fucus*-Algen ihre reifen Rezeptakeln von April bis Juli 2013 (Skala 2→0,5); im September war nur noch ein Blasentang (Stein Nr. 10) fertil. Ausgesäte Keimlinge wurden vereinzelt im Februar und Juni in Brodten2, sowie im Juni und Juli in Brodau2 gesichtet, bei den späteren Tauchuntersuchungen hingegen nicht mehr.

Wachstum: Von November 2012 bis März 2013 wurden die neu ausgebrachten *Fucus*-Algen in Brodten2 in ihrer Länge um durchschnittlich -5 (± 6) cm reduziert (entspricht -17 [± 25]%). Einzelne Blasentange zeigten ein positives Längenwachstum. Im April wuchsen die ausgebrachten *Fucus*-Algen um +13 [± 34]%. In den nächsten 4 Monaten wurden die Blasentange wieder um -4 [± 8] cm in ihrer Länge reduziert (entspricht -31 [± 45]%), wobei einzelne *Fucus*-Algen ein positives Längenwachstum zeigten. Im September konnten nur noch 4 Blasentange gemessen werden, einen Monat später waren alle ausgebrachten *Fucus*-Algen aufgrund von Fraß verschwunden.

In Brodau2 wurde zunächst ein positives Längenwachstum der 10 neu ausgebrachten *Fucus*-Algen von April bis Juli 2013 von +4 (± 5) cm ermittelt (entspricht +13 [± 16]%). Im September 2013 wurde eine drastische Längenreduktion durch Fraß registriert (-22 [± 9] cm bzw. -55 [± 20]%). Am 10.11.2013 waren die *Fucus*-Steine komplett versandet, die Blasentange zudem vermutlich durch Wegfraß verschwunden.

2014

Der Standort Brodau wurde am 1.4.2014 aufgelöst, da die Untersuchungen in beiden Ansätzen 2012 und 2013 zeigten, dass *Fucus* an diesem Standort aufgrund des Fraßdruckes im ersten Projekthalbjahr und zusätzlich der Sedimentdynamik im zweiten Untersuchungsjahr nicht lange überleben konnte.

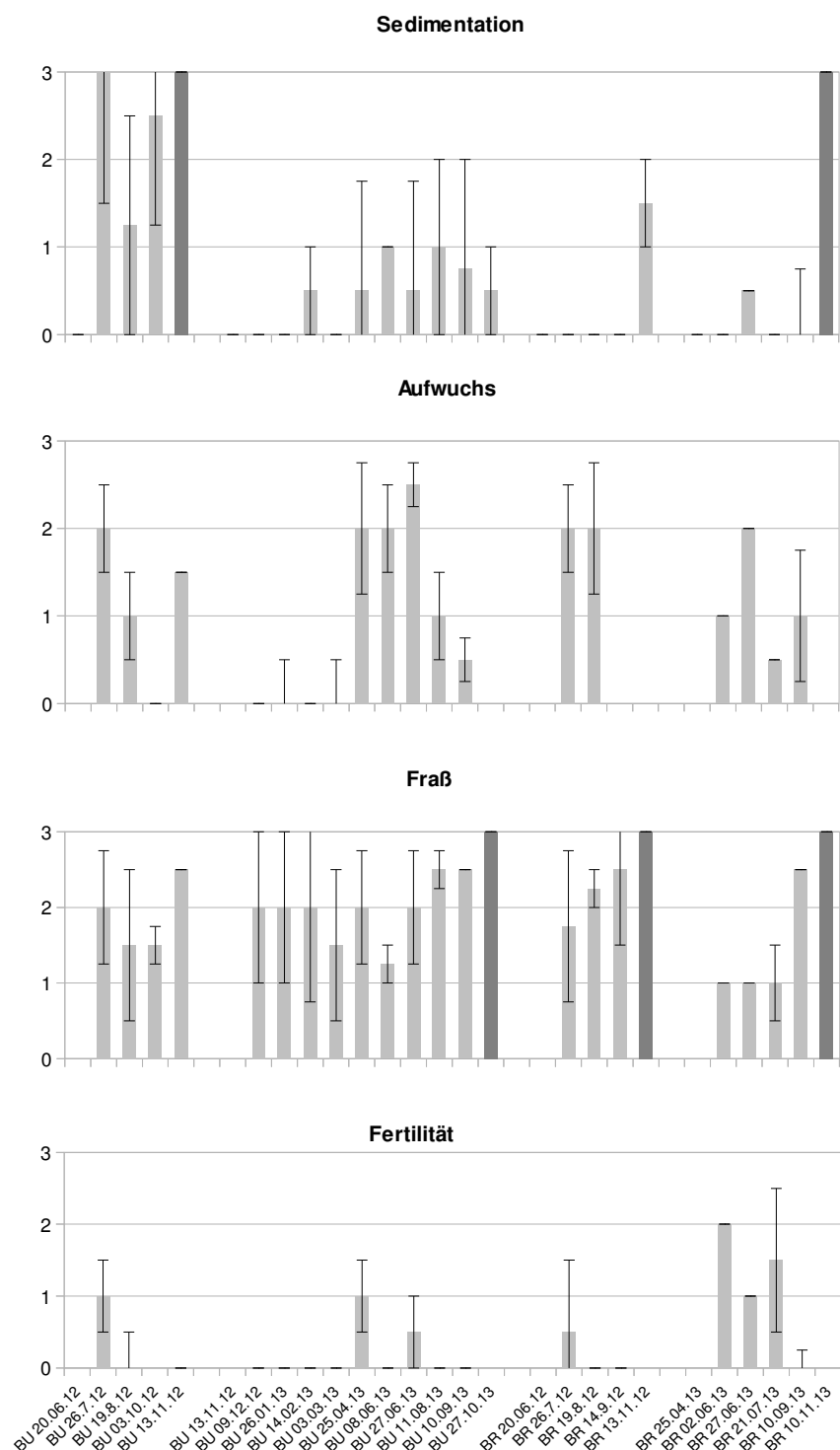


Abb. 15a: Sedimentation, Aufwuchs, Fraß und Fertilität der versetzten *Fucus*-Algen in der Lübecker Bucht 2012-2013 an den Standorten Brodtener Ufer (BU) und Brodau (BR): Skalen von 0 (nicht vorhanden) bis 3 (vollständig). Dargestellt sind Mediane mit Spannweiten (range; n siehe Zahlen in Abb. 15b). Dunkelgrau: *Fucus* versendet bzw. abgefressen

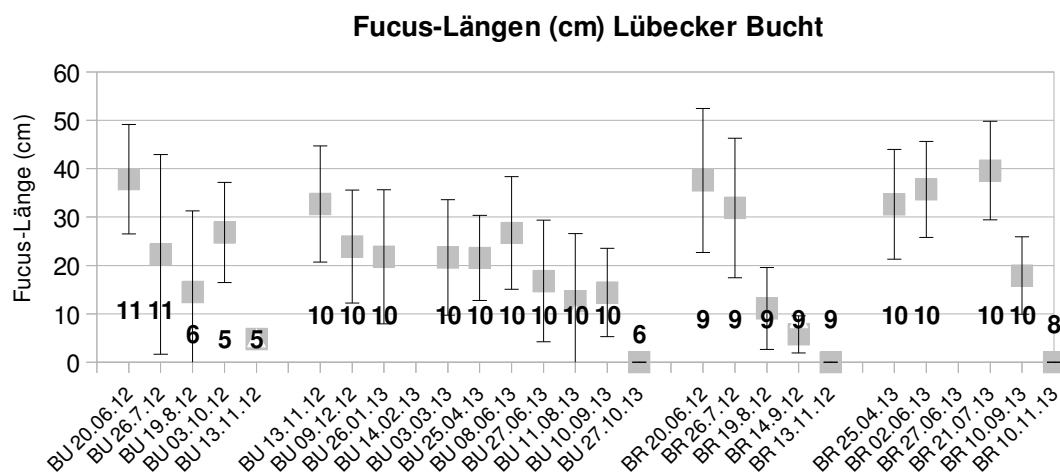


Abb. 15b: *Fucus*-Längen in der Lübecker Bucht 2012-2013 an den Standorten Brodtener Ufer (BU) und Brodau (BR); Mittelwerte und Standardabweichungen. Die Zahlen zeigen die Anzahl der gefundenen *Fucus*-Steine

5.3 *Fucus*-Wachstum: Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht

In Abb. 16 ist die prozentuale Längenänderung (Wachstum bzw. Reduktion) der ausgebrachten Blasentange an den verschiedenen Standorten in der Kieler und Lübecker Bucht von 2012 bis 2014 zusammenfassend dargestellt (vgl. Kap. 5.1 und 5.2).

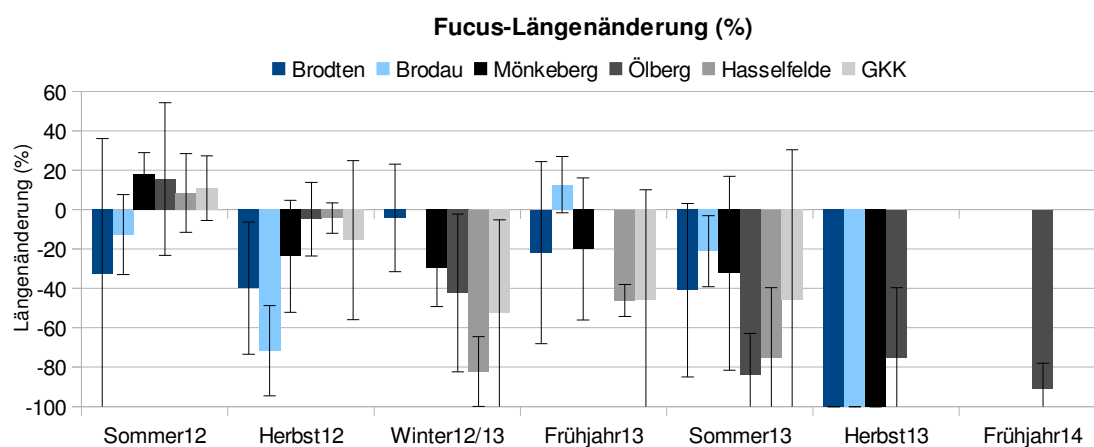


Abb. 16: Vergleich *Fucus*-Längenänderung in Prozent in der Kieler Bucht (Graustufen) und Lübecker Bucht (Blau). Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen

6 Entwicklung einzelner Steine

Der Zustand bzw. die Entwicklung der ausgebrachten *Fucus*-Algen an den 6 Standorten wird im Folgenden exemplarisch für einzelne Steine beschrieben (Abb. 17 bis Abb. 19).

In **Mönkeberg** und am **Ölberg** saßen beim Sommermonitoring 2012 Polypen auf dem *Fucus*, im November waren viele Fraßspuren mitsamt aufsitzenden Strandschnecken zu sehen.

In **Mönkeberg** war der Blasentang im April 2013 von Grünalgen (*Enteromorpha spec.*) überwuchert. Zwei Monate später folgte die Braunalgen-Blüte (*Pylaiella littoralis*), es wurden Meeresasseln auf dem *Fucus* gesichtet. Im August 2013 war nur noch die Mittelrippe von *Fucus* vorhanden, der Stein von einer lockeren Detritusschicht belegt. Am **Ölberg** wurde im Juni 2013 eine Seescheide (*Ciona intestinalis*) auf dem *Fucus* gesehen, im August war der Blasentang wieder nur auf die Mittelrippe reduziert.

In **Hasselfelde** und am **GKK** wurden im Sommer- und Herbst 2012 sehr viele Polypen, fädige Algen und einige Miesmuscheln auf dem *Fucus* gesichtet. Im Mai 2013 bedeckten fädige Braunalgen sowie eine starke Detritusschicht die Steine mitsamt dem degradierten Blasentang. Im Juni 2013 kamen noch fädige Grün- und Rotalgen dazu. Im August 2013 war in Hasselfelde kein adulter *Fucus* mehr zu sehen, nur einige kleine Keimlinge, die sich von den natürlichen Blasentang-Beständen am Ufer (50 m entfernt!) ausgesät haben mussten. Am GKK verblieb die Mittelrippe von *Fucus*, auch wurden hier einige kleine Keimlinge entdeckt, die von den Blasentang-Beständen am Tunnel (ca. 5 m entfernt) stammen könnten.

In **Brodten2** wurde der ausgebrachte *Fucus* von November 2012 bis Februar 2013 um ca. die Hälfte reduziert. Als potentielle Grazer wurden viele Asseln und Flohkrebse (Amphipoden) gesichtet. Außerdem waren die Steine immer dichter mit *Mytilus* bedeckt. Im April kam eine Grünalgen-Blüte (*Ulva spec.*) hinzu, im Juni *Pylaiella*. Zu diesem Zeitpunkt war der *Fucus* fertil, und es wurde ein kleiner Keimling auf dem Stein gesichtet. Ab August 2013 degradierte der Blasentang weiter, die *Mytilus*-Dichte nahm zu. Im Oktober 2013 war kein einziger *Fucus* mehr zu sehen.

In **Brodau2** wurde fertiler *Fucus* im April 2013 ausgebracht. Zunächst wurden nur wenig Fraßspuren und einige Asseln und Schnecken gesichtet, im Juni überwucherten fädige Braunalgen den Blasentang. Im Juli 2013 befanden sich einige juvenile *Mytilus* auf dem immer noch reifen *Fucus*; auf einem Kontrollstein wurden einige kleine Keimlinge gesichtet. Zwei Monate später war der Blasentang um ca. 75% reduziert, die Muscheldichte auf den Steinen nahm zu. Im Oktober 2013 war der Standort komplett versandet, mit *Mytilus* belegt und, wo sichtbar, alle *Fucus*-Algen abgefressen.

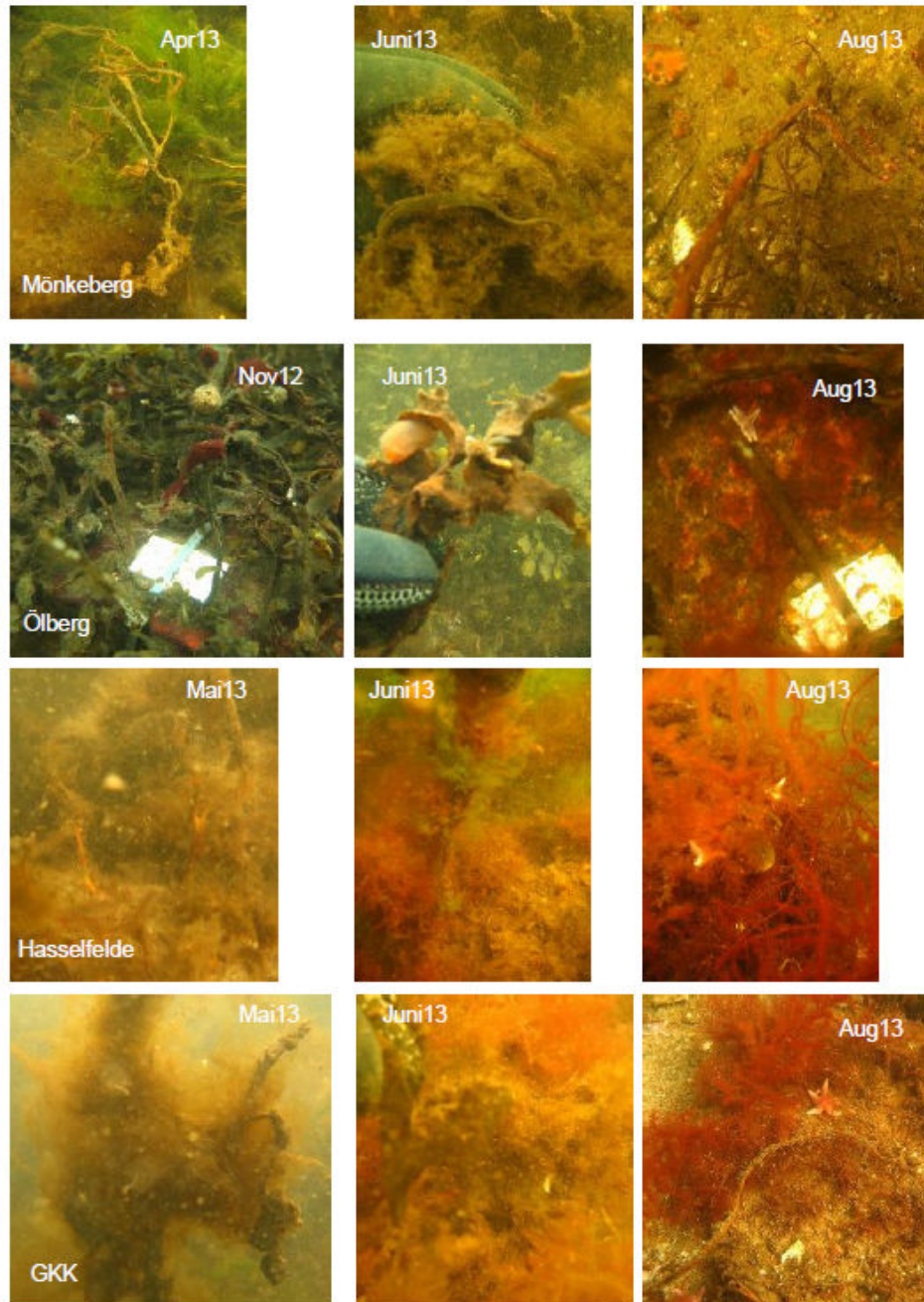


Abb. 17: Entwicklung von *Fucus* auf Stein Nr. 73 in Mönkeberg, auf Nr. 93 am Ölberg, auf Nr. 67 in Hasselfelde, auf Nr. 23 am GKK (alle Kieler Bucht); Aufwuchs (Epiphyten, Epizoen, Detritus), Fraß (hpts. Schnecken) und Verkümmern der adulten ausgebrachten *Fucus*-Algen

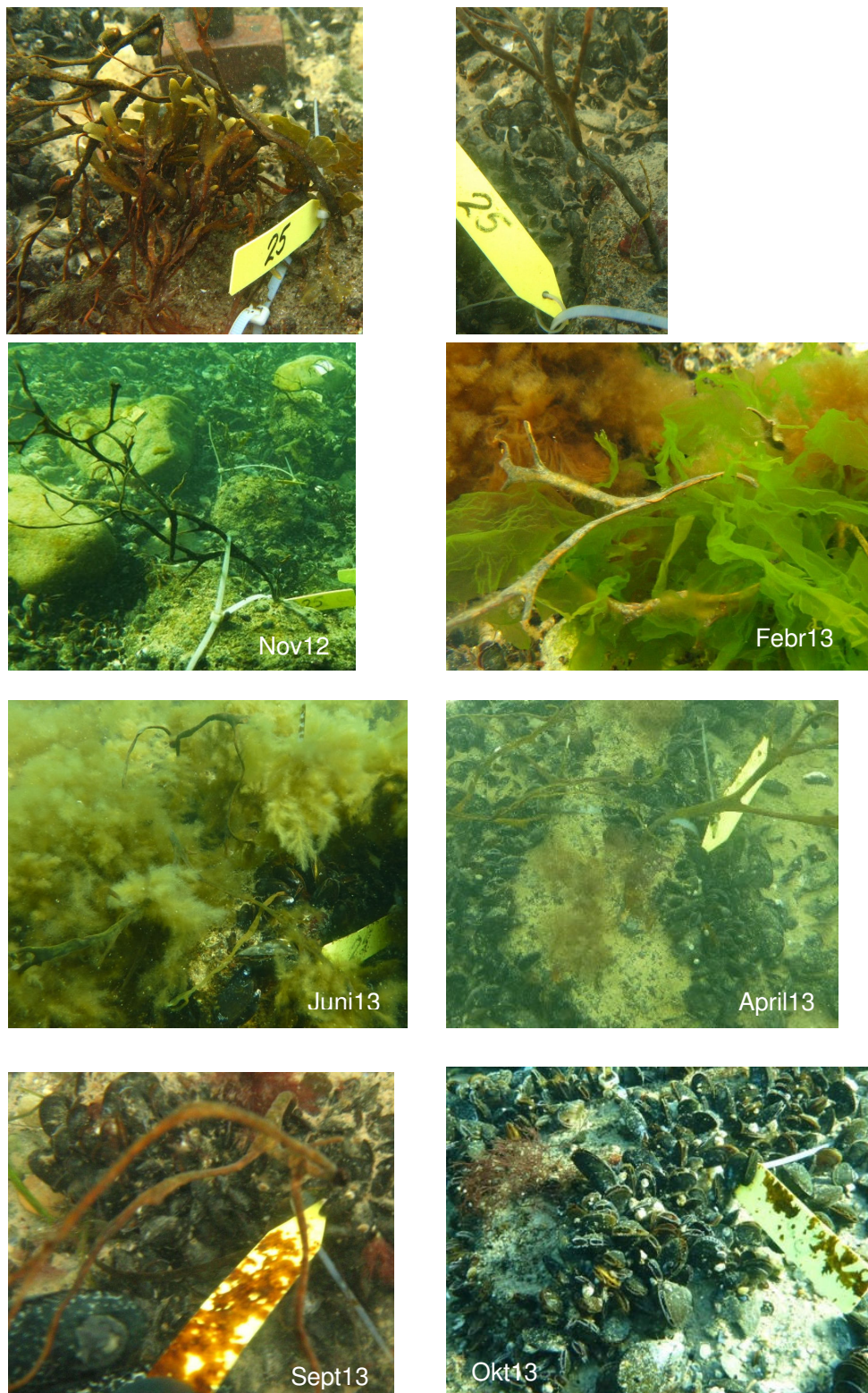


Abb. 18: Entwicklung von *Fucus* auf Stein Nr. 25 in Brodten2 von November 2012 bis Oktober 2013; Fraß (hpts. Asseln), Aufwuchs (Epiphyten) und Verschwinden (durch Fraß), Dominanz *Mytilus*



Abb. 19: Entwicklung von *Fucus* auf Stein Nr. 6 in Brodau2 von April bis Oktober 2013; Aufwuchs (Epiphyten), Fraß (hpts. Asseln) und Versanden; Dominanz *Mytilus*

7 Aussaat des versetzten Blasentangs und Entwicklung der ausgesäten *Fucus*-Algen: Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht

Die Längenentwicklung der ausgesäten *Fucus*-Algen auf den leeren Steinen (Kontrollsteine) in der Kieler Bucht ist in Abb. 20 dargestellt.

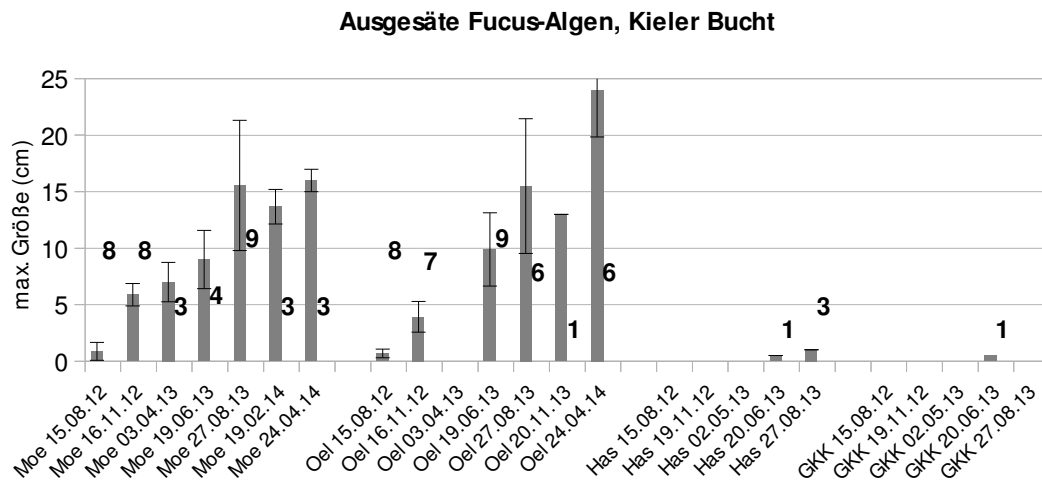


Abb. 20: Längen-Entwicklung der ausgesäten *Fucus*-Algen auf den „leeren“ Steinen (Kontrollsteine) in der Kieler Bucht (Standorte Mönkeberg, Ölberg, Hasselfelde und GKK) von August 2012 bis April 2014; Mittelwerte und Standardabweichungen; n=Anzahl der Steine mit den jeweils größten *Fucus*-Algen

Kieler Bucht: An den Standorten **Mönkeberg** und **Ölberg** wurden im Sommer 2012 und 2013 jeweils kleine, ausgesäte Blasentange auf den versetzten *Fucus*-Steinen und auf den Kontrollsteinen gesichtet, an den Standorten **Hasselfelde** und **GKK** nur vereinzelt kleine, ausgesäte Blasentange im Sommer- 2013. Da sich an den beiden letztgenannten Standorten zu diesem Zeitpunkt keine fertilen, adulten *Fucus*-Algen mehr auf den Steinen befanden, kann die Aussaat nur von weiter entfernten *Fucus*-Beständen her stammen (s. Fazit Kap. 9)

Die ausgesäten *Fucus*-Algen auf den 10 Kontrollsteinen an den Standorten Mönkeberg und Ölberg zeigten ein stetiges Wachstum von durchschnittlich 1 (± 1) cm im August 2012 auf 16 (± 6) cm im August 2013, wenig Fraßspuren und kaum Aufwuchs. Einige Juvenile hatten im Sommer 2013 auch fertile Spitzen (Rezeptakel). Im Februar 2014 waren die größten juvenilen *Fucus*-Algen auf 3 Kontrollsteinen in Mönkeberg 13 (± 2) cm lang und im April 2014 auf 16 (± 1) cm gewachsen. Am Ölberg wurde im November 2012 nur ein Kontrollstein mit einem juvenilen *Fucus* von 12 cm Länge gemessen; im April 2014 zeigten *Fucus*-Juvenile auf 6 Kontrollsteinen eine durchschnittliche Maximal-Länge von 24 (± 4) cm, die meisten von ihnen waren auch fertil.

Lübecker Bucht: Aufgrund der Sedimentdynamik in **Brodten1** und des Wegfraßes in **Brodau1** wurden im Jahr 2012 keine ausgesäten Keimlinge bzw. juvenile *Fucus*-Algen gefunden. In Brodten2 wurden im Februar und Juni 2013 vereinzelt *Fucus*-Keimlinge (ca. 1 cm) auf den ausgebrachten Steinen gesehen (Abb. 21), bei den darauffolgenden Tauchuntersuchungen waren sie allerdings verschwunden. In Brodau2 wurden im Juni und Juli 2013 vereinzelt *Fucus*-Keimlinge (<0,5 cm) auf dem unbesäten Backstein gesichtet (vgl. Kapitel 7.1).



Abb. 21: *Fucus*-Keimling (Pfeil) neben Miesmuscheln und Fadenalgen am Standort Brodten2 im Juni 2013

7.1 Entwicklung der im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlinge: Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht

Die im Labor reproduzierten Blasentange wuchsen in der Kieler Bucht an den Standorten **Mönkeberg** und **GKK** heran, allerdings in unterschiedlicher Dichte und auch maximaler Größe (Abb. 22+23). Sechs Wochen nach dem Ausbringen waren die *Fucus*-Keimlinge makroskopisch sichtbar und in Mönkeberg in höherer Dichte vorhanden als am GKK. Am 20. November 2013 wuchsen die Blasentange in unverändert hoher Dichte auf den Backsteinen (Länge ca. 8-10 cm), am GKK waren nur noch vereinzelte *Fucus*-Keimlinge <1 cm Größe auf den halb eingesunkenen Backsteinen zu sehen. In Mönkeberg waren auch auf dem Referenz-Backstein (nicht besät) einige juvenile *Fucus*-Algen zu sehen. Die Anwesenheit von konkurrierenden bzw. epiphytischen Braunalgen (*Pylaiella littoralis*) im Frühjahr 2013, sowie das vermehrte Auftreten der Fraßdruck ausübenden Strandschnecken (*Littorina littorea*) schienen den Zustand und das Wachstum der Blasentang-Keimlinge in Mönkeberg nicht zu beeinträchtigen. Im Februar 2014 waren die weiterhin dicht vorhandenen *Fucus*-Keimlinge in ihrer Länge etwas reduziert (ca. 7 cm), im April dagegen wieder auf max. 15 cm Gesamtlänge gewachsen. Am GKK waren im Februar 2014 keine *Fucus*-Keimlinge mehr zu sehen, die Backsteine waren zu über 2/3 im Sediment eingesunken, mit einer Detritus-Schicht, fädigen Algen und großen Miesmuscheln bedeckt.

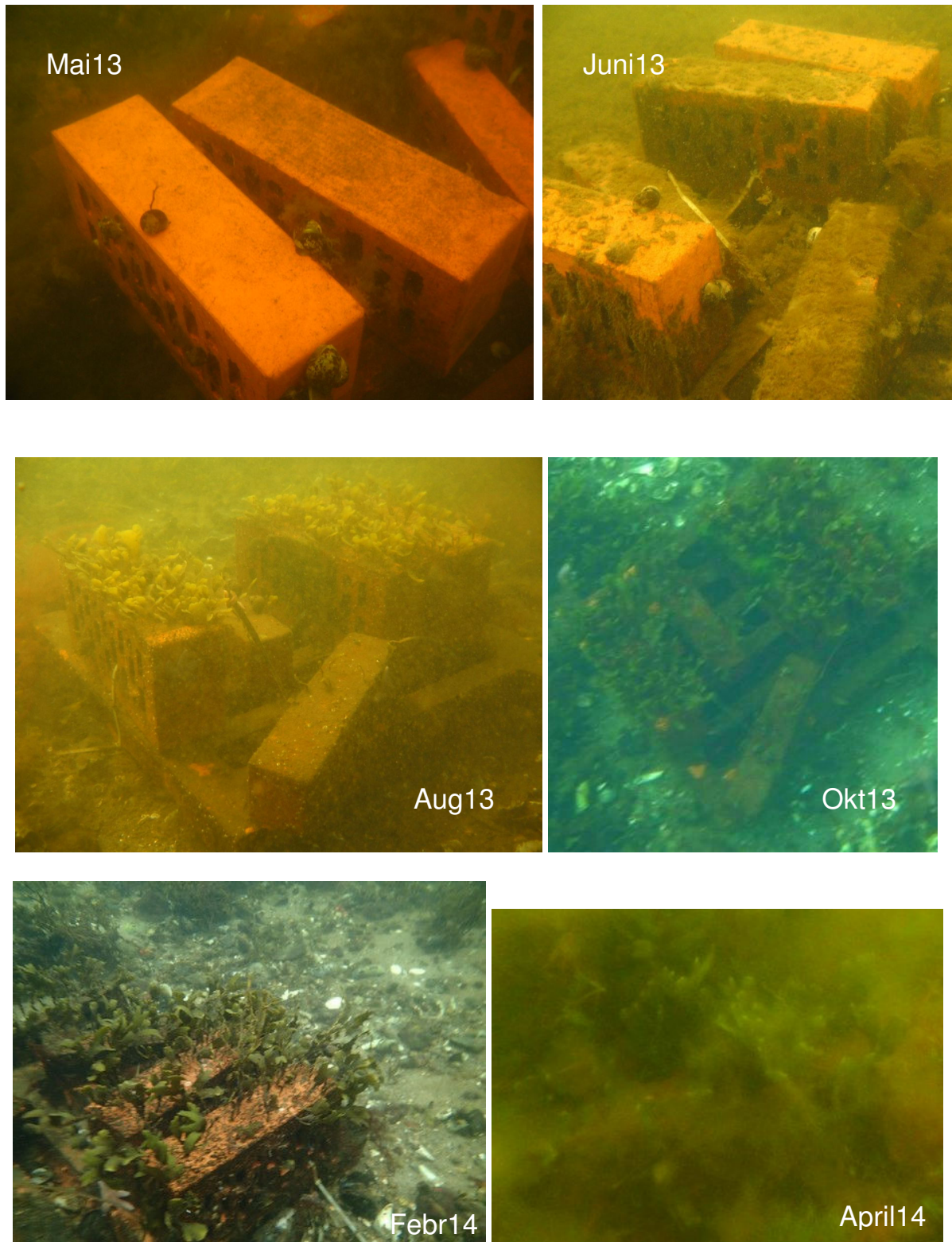


Abb. 22: Entwicklung der im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlinge am Standort Mönkeberg (Kieler Bucht) von Mai 2013 (Ausbringen) bis April 2014 (stetig wachsend)

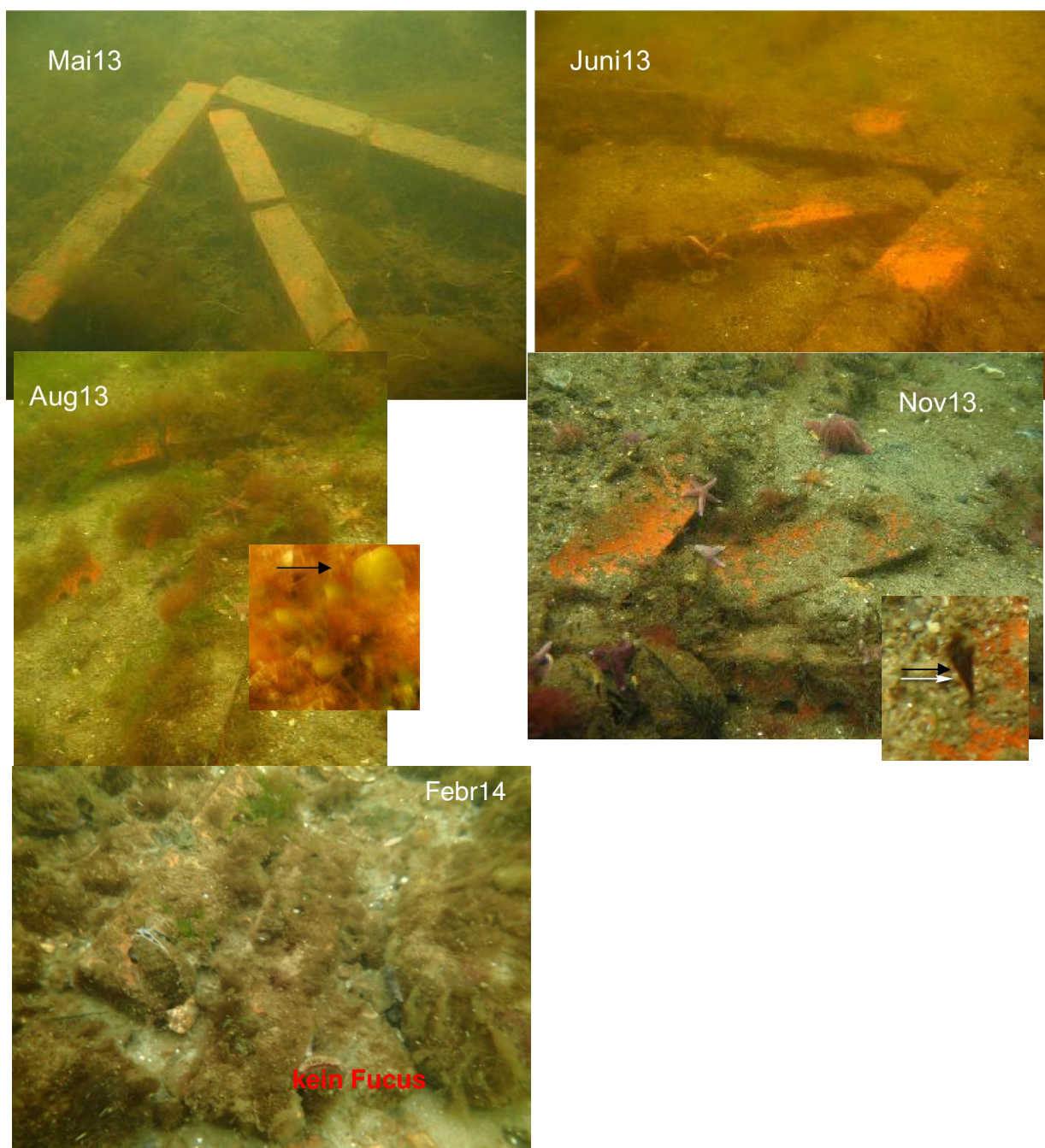


Abb. 23: Entwicklung der im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlinge am Standort GKK (Kieler Bucht) von Mai 2013 (Ausbringen) bis Februar 2014 (kein *Fucus* mehr vorhanden)

In der Lübecker Bucht wuchsen die im Labor reproduzierten Blasentange ebenfalls zunächst heran. In **Brodten2** waren die *Fucus*-Keimlinge auch ca. 6 Wochen nach dem Ausbringen mit bloßem Auge erkennbar. Im Gegensatz zum Standort Mönkeberg in der Kieler Bucht wuchsen die Blasentange in Brodten2 nur bis max. 4 cm Größe und wurden im Sommer 2013 durch Fraß (Meeresasseln, Strandschnecken) auf ca. 20% der ursprünglichen Dichte reduziert (einige *Fucus*-Keimlinge verblieben auf einem von ehemals vier Backsteinen; Abb. 24). Auch wurde eine starke Anwesenheit von konkurrierenden fädigen Algen (*Pylaiella* im Sommer, *Ceramium* im Herbst), Seepocken und Miesmuscheln beobachtet. Im Oktober 2013 waren die *Fucus*-Keimlinge verschwunden, die Backsteine waren dicht mit *Mytilus* und Rotalgen (*Dumontia contorta*) bewachsen. Ein zusätzliches Aussäen von *Fucus*-Keimlingen durch die adulten Blasentange im *Fucus*-“Garten“ wurde nicht registriert.

In **Brodau2** erreichten die gezüchteten *Fucus*-Keimlinge eine mit Brodten2 vergleichbare Dichte und Größe bis zum späten Frühjahr (Ende Juni 2013). Im Sommer waren ihre Dichte und Größe unverändert, beim darauffolgenden Monitoring im September 2013 waren die Blasentang-Keimlinge hingegen vollständig verschwunden (Abb. 25). Es wurden wiederum fädige Rotalgen, Seepocken und Miesmuscheln auf den Backsteinen gesehen. An diesem Standort wurde, im Gegensatz zu Brodten2, ein zusätzliches Aussäen von *Fucus*-Keimlingen durch die ausgebrachten adulten *Fucus*-Algen auf dem Referenz-Backstein beobachtet.

Abbildung 26 zeigt die maximalen Größen der im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlinge an den Standorten Mönkeberg und GKK (Kieler Bucht), sowie Brodten2 und Brodau2 (Lübecker Bucht).

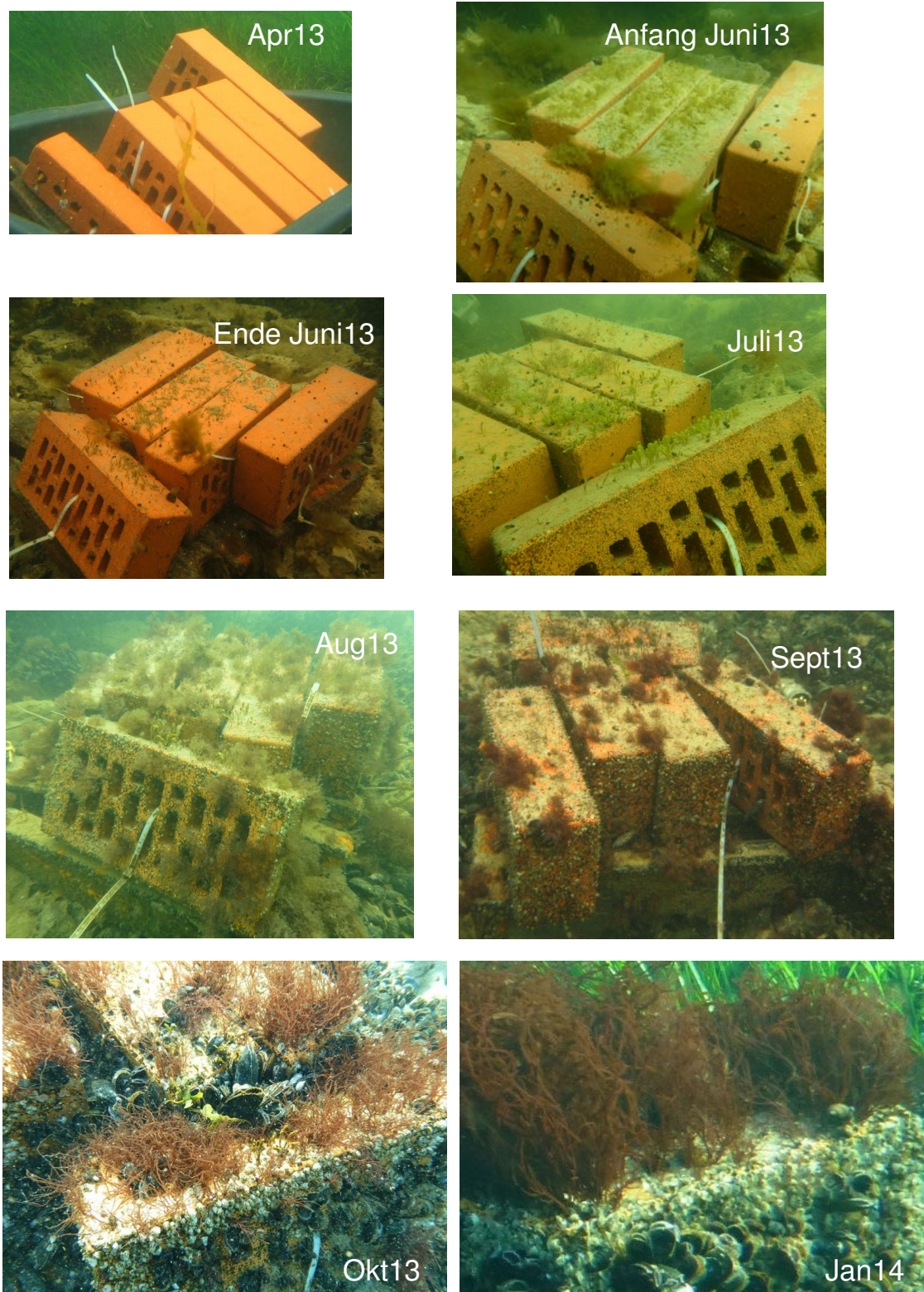


Abb. 24: Entwicklung der im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlinge am Standort Brodten2 (Lübecker Bucht) von April 2013 (Ausbringen) bis Januar 2014 (kein *Fucus* mehr vorhanden)

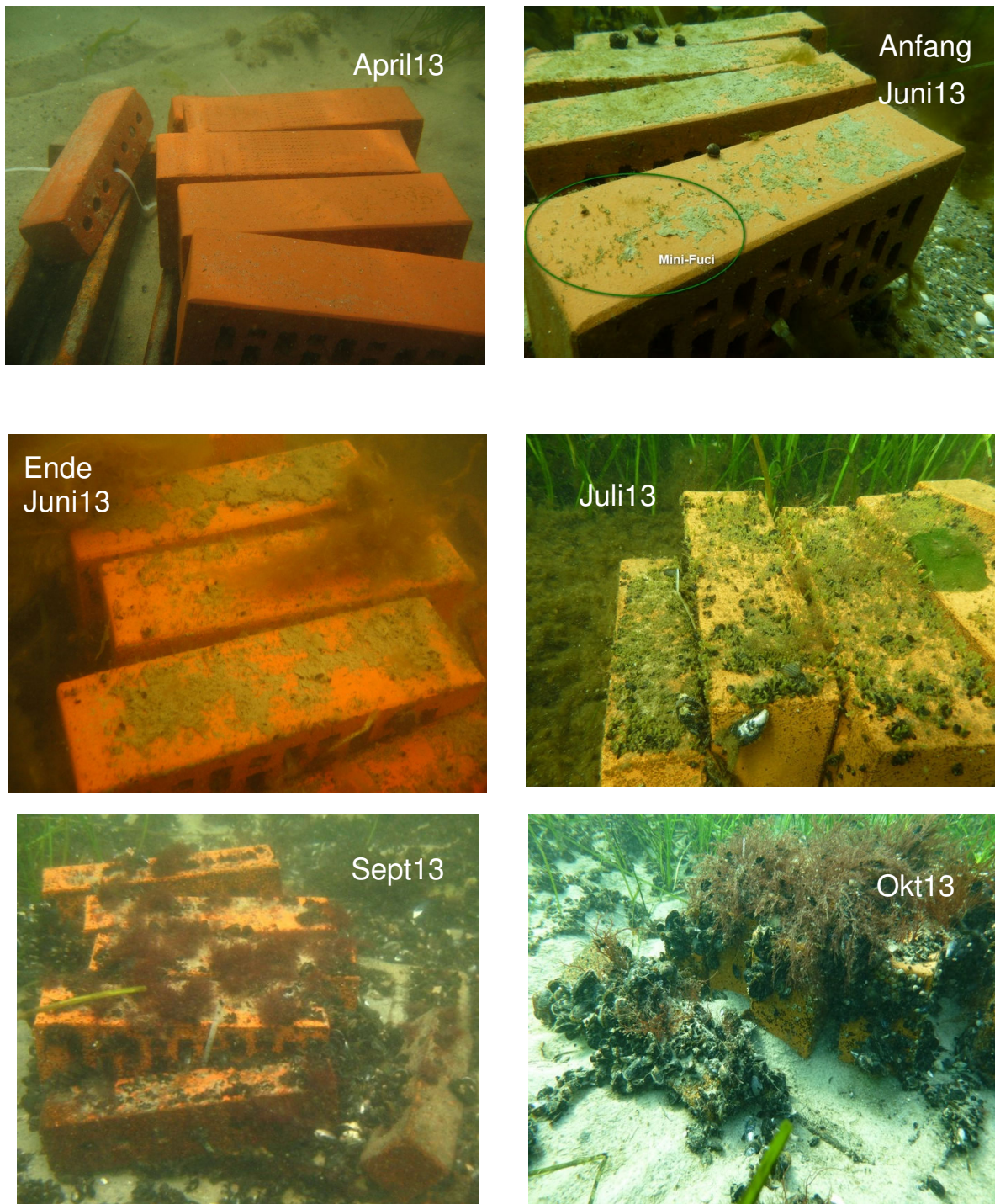


Abb. 25: Entwicklung der im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlinge am Standort Brodau2 (Lübecker Bucht) von April 2013 (Ausbringen) bis Oktober 2013 (kein *Fucus* mehr vorhanden)

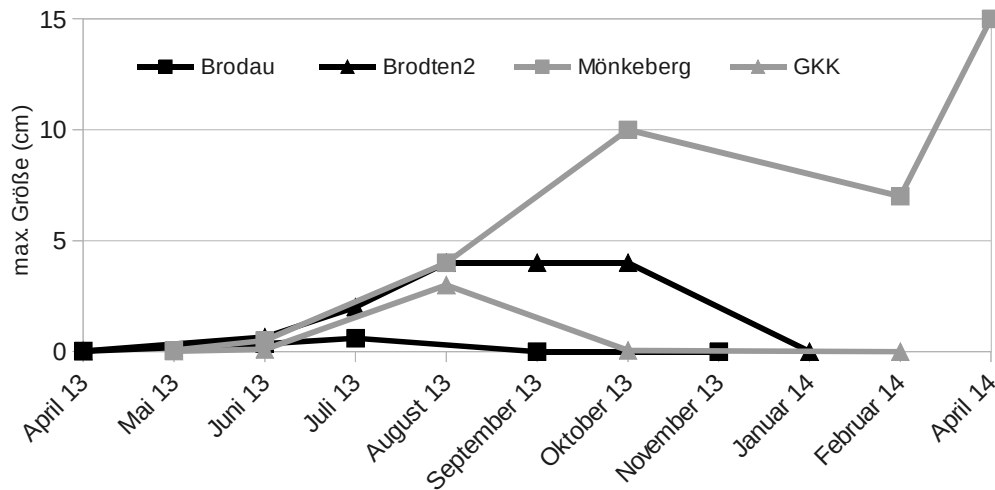


Abb. 26: Maximale Größe der im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlinge von April 2013 bis April 2014. Vergleich der Standorte Mönkeberg und GKK (Kieler Bucht, grau) mit Brodau2 und Brodten2 (Lübecker Bucht, schwarz); n=1 (der größte *Fucus* wurde jeweils gemessen)

7.2 Sedimentdynamik Lübecker Bucht 2012 bis 2014

Die Standorte in der Lübecker Bucht zeigten unterschiedliche Sedimentbewegungen; in **Brodten1** gab es eine hohe Sedimentationsdynamik, sowohl als Sedimentabtrag als auch als Sedimentablagerung von -25 bis +16 cm (Abb. 27). So lagen z.B. innerhalb von 3 Wochen (Januar-Februar 2013) die im November 2012 versandeten *Fucus*-Steine wieder frei, die Messstange lag durch diese Unterspülung ebenfalls auf dem Sandboden (Abb. 28). Auf der relativ sandfreien Mergelfläche von **Brodten2** gab es vertikale Sedimentbewegungen von nur einigen Zentimetern in beide Richtungen. In **Brodau** wurde von Juni bis November 2012 kaum Sedimenttransport bei den Monitoring-Untersuchungen registriert (und aufgrund der Anwesenheit von Seegrasflächen auch nicht vermutet), nach dem Einbringen der Messstange konnten allerdings auch hier Sedimentbewegungen nachgewiesen werden, die zu Höhendifferenzen von ca. 10 cm führten. Der Standort Brodau wurde am 01.04.2014 aufgegeben, der Logger und die Messstange entnommen.

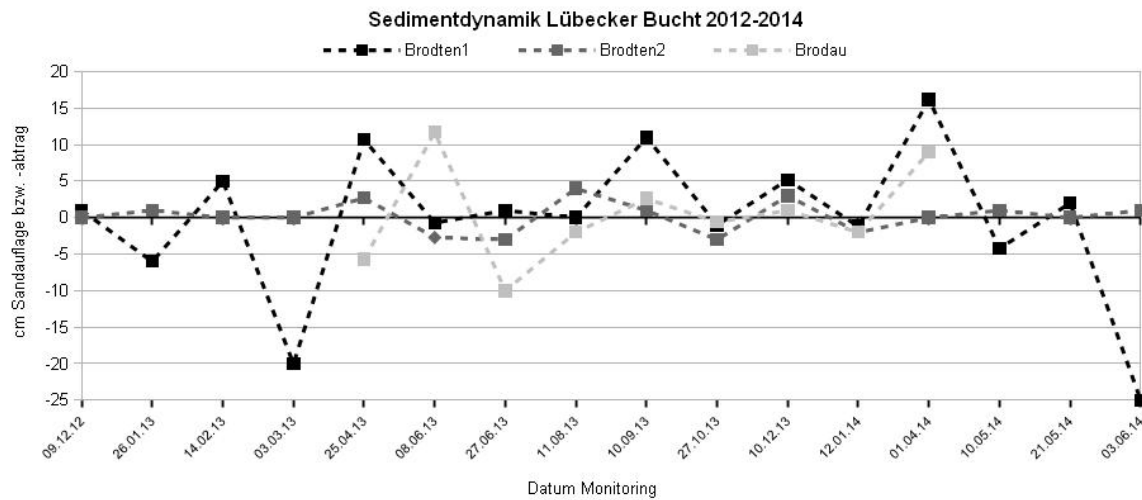


Abb. 27: Sedimentdynamik an den *Fucus*-Standorten Brodten1 (schwarz), Brodten2 (dunkelgrau) und Brodau (hellgrau) in der Lübecker Bucht von Dezember 2012 bis Juni 2014; positive Werte=Sedimentauflage, negative Werte= Sedimentabtrag



Abb. 28: Standort Brodten1, Lübecker Bucht: Sediment-Messstange 20 cm tief im Sand im Februar 2013 (linkes Bild), drei Wochen später freigelegte ehemalige *Fucus*-Steine, Stange unterspült auf dem Boden liegend (rechtes Bild)

7.2.1 *Mytilus*-Larvenfall, Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht

Bei den Monitoring-Untersuchungen an den Standorten der **Kieler Bucht** schien das Vorkommen von *Mytilus edulis* nicht erkennbar nachteilig auf die Entwicklung der ausgebrachten *Fucus*-Algen zu sein. Es gab zwar im Sommer-Monitoring 2012 große, den adulten Blasentangen aufsitzende Miesmuscheln, es wurden aber auch andere Epizoen und Epiphyten gesichtet, welche die *Fucus*-Algen überwucherten.

Auf den Backsteinen (mit den gezüchteten *Fucus*-Keimlingen) wurden im Jahr 2013 in Mönkeberg und am GKK keine Miesmuscheln gesichtet (nur in der Umgebung einige große Exemplare), im Gegensatz zu den Standorten Brodten1 und Brodau1 in der Lübecker Bucht (vgl. Abb. 22-25).

In den Standorten der **Lübecker Bucht** wurden seit Beginn der Monitoring-Untersuchungen im Sommer 2012 auffällige Ansammlungen von kleineren bis größeren Miesmuscheln auf dem Sediment und auf den ausgebrachten Steinen registriert, besonders ab dem Zeitpunkt der Reduktion des Blasentangs durch Sandauflage bzw. Fraßdruck. In Brodten1 schien die Dichte des *Mytilus*-Vorkommens mit der Sedimentdynamik einher zu gehen (Sandauflage => mehr Miesmuscheln, Sandabtrag => weniger Miesmuscheln; Abb. 29). Auch bei den zweiten Ansätzen 2013 in Brodten und Brodau wurde ein erhöhtes Aufkommen von *Mytilus edulis* beobachtet. In Brodten2 schien die Muscheldichte etwa gleichbleibend zu sein (Abb. 30). In Brodau2 wurde das Auftreten von *Mytilus*, ähnlich wie in Brodau1 2012, zum Herbst hin stärker (Abb. 31).

In Abb. 33 sind die Ergebnisse der *Mytilus*-Larvenzählungen dargestellt. Hier wurden im Frühling und Herbst 2013 nur etwa bis zu 20 Larven pro 50 cm² Kollektorband registriert. Ein Sommer-Peak mit intensivem Larvenfall konnte in Brodten2, nicht aber in Brodau festgestellt werden, möglicherweise waren die angehefteten Larven schon gewachsen und fort gewandert.

Beim Auszählen der Kollektorbänder zeigt sich im Vergleich Kieler Bucht – Lübecker Bucht ein widersprüchliches Bild: In Mönkeberg wurden 10mal mehr Larven als in Brodten2 und 100mal mehr als in Brodau gezählt. Allerdings wurden in den Standorten der Kieler Bucht höhere Dichten von Seesternen und Strandkrabben (Fraßfeinde von *Mytilus*) gesichtet als in der Lübecker Bucht (Abb. 32).



Abb. 29: Unterschiedliche Dichten von Miesmuscheln am Standort Brodten1, Lübecker Bucht; links: September 2013, Sandauflage; rechts: Oktober 2013, Sandabtrag; Messlogger am Gullideckel, Sediment-Messstange und Bojenleine am ehemaligen *Fucus*-“Garten“ erkennbar



Abb. 30: Etwa gleichbleibende *Mytilus*-Dichte in Brodten 2, Lübecker Bucht, 2012 bis 2013

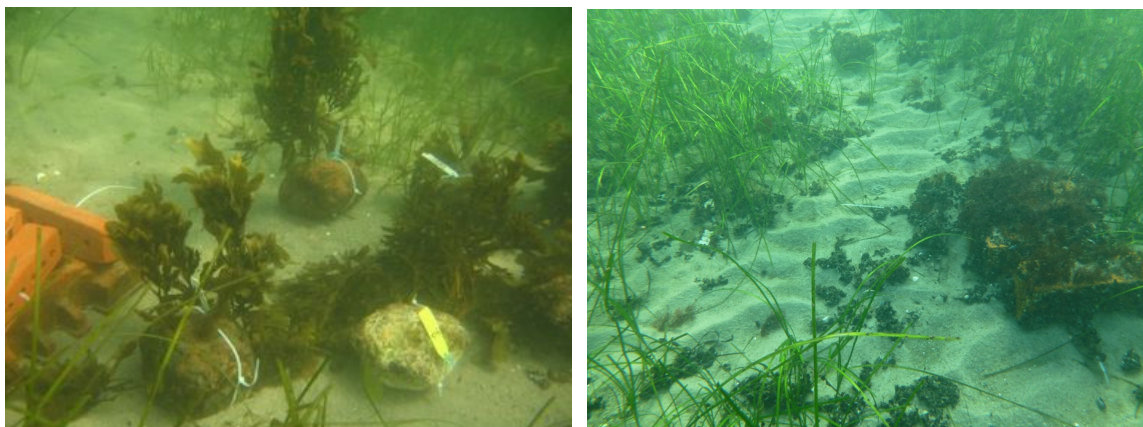


Abb. 31: *Mytilus*-Dynamik in Brodau2, Lübecker Bucht; links: April 2013 (kaum *Mytilus*), rechts: Oktober 2013 (hohe *Mytilus*-Dichte, *Fucus*-“Garten“ versandet)



Abb. 32: Auffälliges Seestern-Vorkommen in Hasselfelde (links) und am GKK (rechts), Kieler Bucht 2013

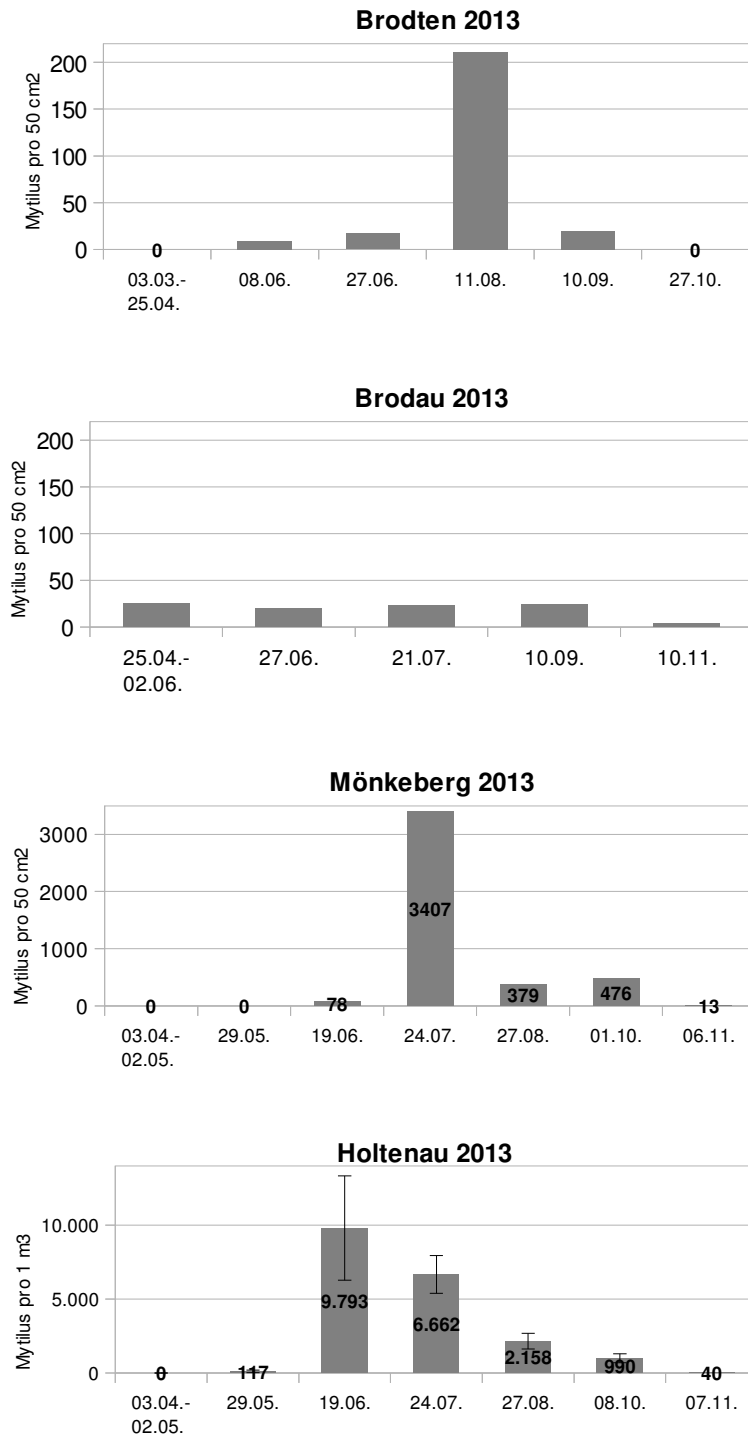


Abb. 33: Anzahl der festgesetzten *Mytilus*-Larven auf jeweils einem 50 cm² Kollektorband an den Standorten Brodten2, Brodau (Lübecker Bucht) und zum Vergleich Mönkeberg (Kieler Bucht) 2013. Zusätzliche Larvenzählungen in 1 m³ Wasser in Holtenau 2013 (Mittelwerte und Standardabweichungen von 3 Messwerten)

8 Hydrographie

Aufgrund niedriger Temperaturen in den Wintermonaten, mechanischer Beschädigungen (z.B. Bewegungen des Gullideckels, Herausfallen des Loggers) oder Interferenzen mit den Eisenstäben des Gullideckels kam es zu Ausfällen der Messlogger. Die Temperatur- und Lichtlogger wurden regelmäßig ausgetauscht, um weitere Ausfälle zu vermeiden. Der Salinitätslogger vom Standort Brodau wurde Ende Juni 2013 entnommen und nach Rücksprache mit dem Hersteller dorthin verschickt, um den offensichtlichen Defekt zu reparieren. Leider ist er auf dem Weg dorthin verlorengegangen. Der Salinitätslogger vom Standort GKK wurde am 19.2.2014 nicht mehr unter Wasser gefunden. Der Gullideckel mitsamt dem Betonstein schien versetzt (aus dem Wasser gerissen und einige Meter weiter versenkt) worden zu sein, der Logger mitsamt der Befestigung (Kabelbinder und Karabiner) war verschwunden.

8.1 Kieler Bucht

Wassertemperatur

In Abb. 34 sind die **Temperatur-Differenzen** zwischen den Standorten **GKK** und **Mönkeberg** dargestellt, von Juni 2012 bis Mai 2014. Im Jahr 2012 war die Wassertemperatur am Kieler Gemeinschaftskraftwerk max. um $0,6^{\circ}\text{C}$ erhöht, verglichen mit dem ca. 1,7 km nördlich entfernten Standort Mönkeberg. Im Jahr 2013 betrug die Temperaturdifferenz zwischen GKK und Mönkeberg max. $+1^{\circ}\text{C}$, im Jahr 2014 max. $+2^{\circ}\text{C}$. Es ist ein - statistisch nicht signifikanter - Trend erkennbar, dass durch den Kühlwassereintrag des Kraftwerks die Wassertemperatur am GKK um durchschnittlich $+0,5 (\pm 0,2)^{\circ}\text{C}$ erhöht ist. Noch am Standort Hasselfelde ist eine erhöhte Wassertemperatur nachweisbar ($+0,6 [\pm 0,6]^{\circ}\text{C}$).

Auffällig ist die sehr niedrige Temperaturdifferenz im September 2013 ($+0,04 [\pm 0,6]^{\circ}\text{C}$). In diesem Monat stand das Kraftwerk still aufgrund einer Revision (pers. Angabe Herr Sprenger, Betreiber GKK). Während dieses Zeitraumes unterschied sich die Wassertemperatur am GKK kaum von den drei anderen Standorten in der Kieler Förde.

Frühere Messungen von CRM ergaben im Jahr 2010 in 1 m Wassertiefe eine Temperaturdifferenz von durchschnittlich $+1,8 (\pm 1,9)^{\circ}\text{C}$, in 3 m Wassertiefe $+1,3 (\pm 1,5)^{\circ}\text{C}$. Im Jahr 2011 betrug die Temperaturdifferenz durchschnittlich $+1,4 (\pm 1,3)^{\circ}\text{C}$ in 1 m Wassertiefe und $+0,5 (\pm 1)^{\circ}\text{C}$ in 3 m Wassertiefe. Die jeweiligen Ausfallzeiten des Kraftwerks wurden dabei berücksichtigt, die entsprechenden Messwerte herausgenommen.

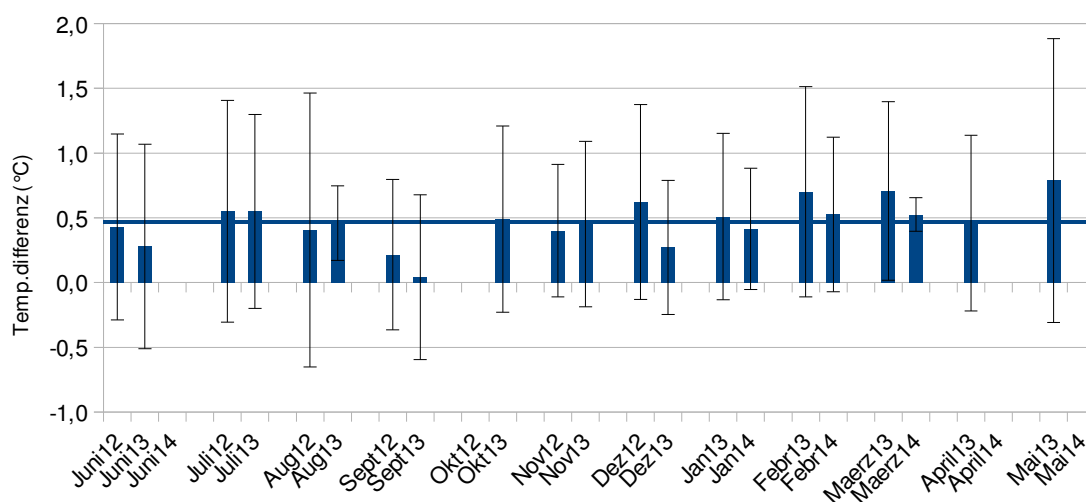


Abb. 34: Temperaturdifferenzen zwischen den Standorten GKK und Mönkeberg (Kieler Bucht) von Juni 2012 bis Mai 2014. Monatliche Mittelwerte und Standardabweichungen aus stündlichen Messwerten. Blaue Linie: Gesamt-Mittelwert

Licht

Lichtintensitäten von beispielsweise Aufzuchtbedingungen von *Fucus vesiculosus* im Labor ($100\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bei Bäck 1992, entspricht ca. 14700 Lux; $120\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ bei Berger 2001, entspricht ca. 17600 Lux) wurden an den Projektstandorten meist nur im Frühling und Sommer erreicht. Dass die Lichtbedingungen an allen vier Standorten in der Kieler Bucht das Wachstum von *Fucus* ermöglichen, zumindest in den Sommermonaten, zeigen auch die Abbildungen 14b und 20 (*Fucus*-Längen der Adulten und Juvenilen). In Abb. 35 sind beispielhaft die gemessenen Licht- und Temperaturwerte in den ersten zwei Wochen nach dem Ausbringen der *Fucus*-Algen dargestellt (14.-30. Juni 2012). Am Standort Mönkeberg wurden auffällig niedrigere Lichtwerte gemessen als an den anderen drei Standorten. Beim Sommer-Monitoring 2012 wurden an allen vier Kieler Standorten eine hohe Dichte an Epiphyten und fädigen Drift-Algen gesichtet. Der von Bäck und Ruuskanen errechnete Photosynthese-Kompensationspunkt von $25\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (entspricht ca. 3700 Lux; s. Bäck 2000) wurde an allen Standorten in der Kieler Bucht erreicht, teilweise sogar im Winter.

Lichtdauer und Lichtintensitäten nahmen in der Reihenfolge GKK<Hasselfelde<Ölberg<Mönkeberg zu, sie zeigen einen Gradienten der Wassertrübung durch suspendierte Sedimentpartikel und Phytoplankton, der in Richtung Außenförde von Süd nach Nord abnimmt. Die Bewertung der Sedimentation zeigt eine vergleichbare Tendenz. Die *Fucus*-Algen und Steine am Standort Ölberg zeigten die geringste Sedimentation (vgl. Ergebnisse in Kap. 5.1).

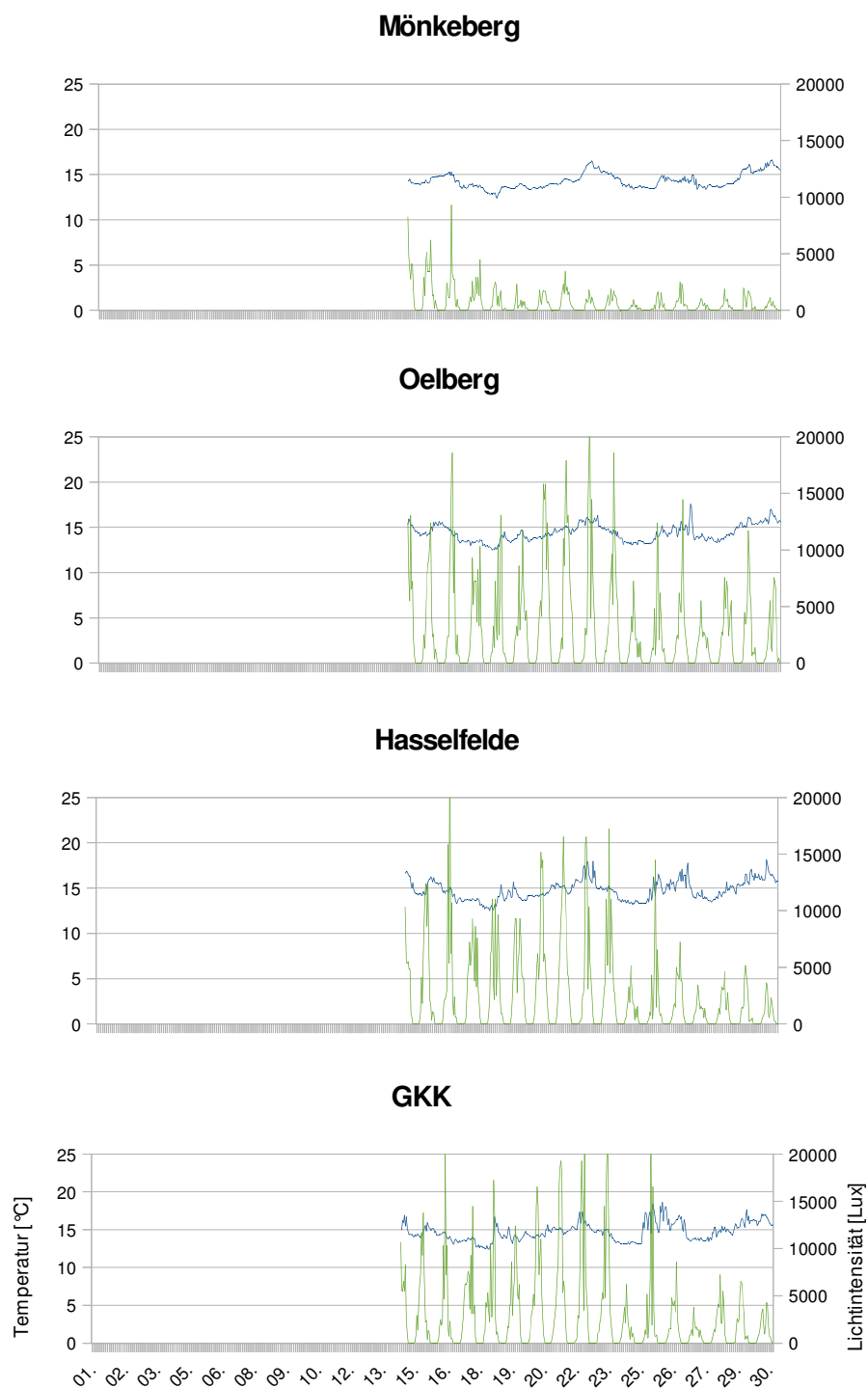


Abb. 35: Stündliche Temperatur- (blau) und Lichtwerte (grün) an den Standorten Mönkeberg, Oelberg, Hasselfelde und GKK (Kieler Bucht) vom 14.-30. Juni 2012

Salzgehalt

In Abb. 36 sind die monatlichen Salinitäten am Standort GKK in der Kieler Förde dargestellt. Im Jahr 2012 wurden durchschnittliche Salzgehalte von 15 (± 1) gemessen, im Jahr 2013 11 (± 2). Im Juli und August 2012 gab es leichte Einbrüche unter 10. Am 15.8. wurde im Rahmen des Monitorings der Gullideckel unter Wasser hochkant vorgefunden, der Salinitätslogger steckte im Sediment; vielleicht sind hiermit die Salinitätsschwankungen zu erklären. Nach der Wiederausrichtung des Loggers bis zum 19.11.2012 stiegen die Salzgehaltswerte im Durchschnitt wieder an.

Von Januar bis Juni 2013 verringerten sich die Salzgehalte kontinuierlich. Ende Juni fielen die Messwerte unter 5. Beim Säubern der Logger am 24. Juli wurde der aus dem Betonstein gefallene Salzlogger wieder neu befestigt; die Salinität stieg danach von 9,8 auf 12,3. Einen Monat später (27.08.2013) erfolgte ein erneutes Befestigen, der Salzgehalt stieg sofort von 9,9 auf 15,9. Durch das Herausfallen kam der Salzlogger sehr nahe an die Eisenstreben des Gullideckels, die Leitfähigkeitsmessungen wurden daher vermutlich verfälscht. Ab Ende Oktober sank der Salzgehalt wieder auf unter 5. Am 20.11.2013 befand sich der Messlogger erneut direkt am Gullideckel und wurde neu am Betonstein befestigt. Die November-Messungen werden als fehlerhaft angesehen, da sie zu niedrig sind, verglichen mit den anderen Durchschnittswerten und eigenen Messungen von CRM in Kiel-Holtenau ($S=16 \pm 2$, Datenerhebung über 10 Jahre). Inwiefern der Einstrom von süßem Flusswasser der Schwentine und die Vermischung mit dem Ostseewasser insgesamt niedrigere Salzgehalte am GKK zur Folge haben könnte, verglichen mit dem Westufer der Kieler Förde, wird im laufenden Projekt noch untersucht.

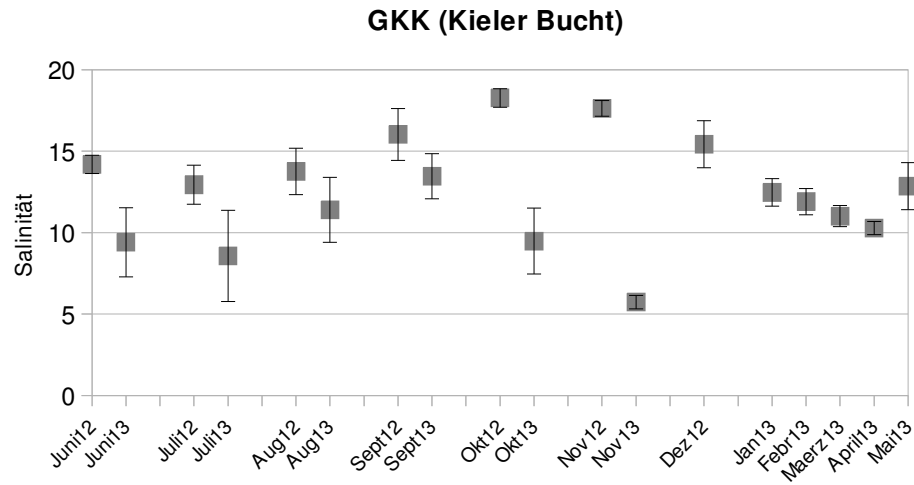


Abb. 36: Salinitäten am GKK (Kieler Bucht) von Juni 2012 bis November 2013; Mittelwerte und Standardabweichungen von halbstündlichen Messwerten

8.2 Lübecker Bucht

Wassertemperatur

Abb. 37 zeigt die monatlichen Temperatur-Mittelwerte in Brodten1 und Brodau von Juni 2012 bis Dezember 2013. Die Temperaturen unterschieden sich nicht signifikant an den beiden Standorten; sie zeigten den typischen Jahresverlauf.

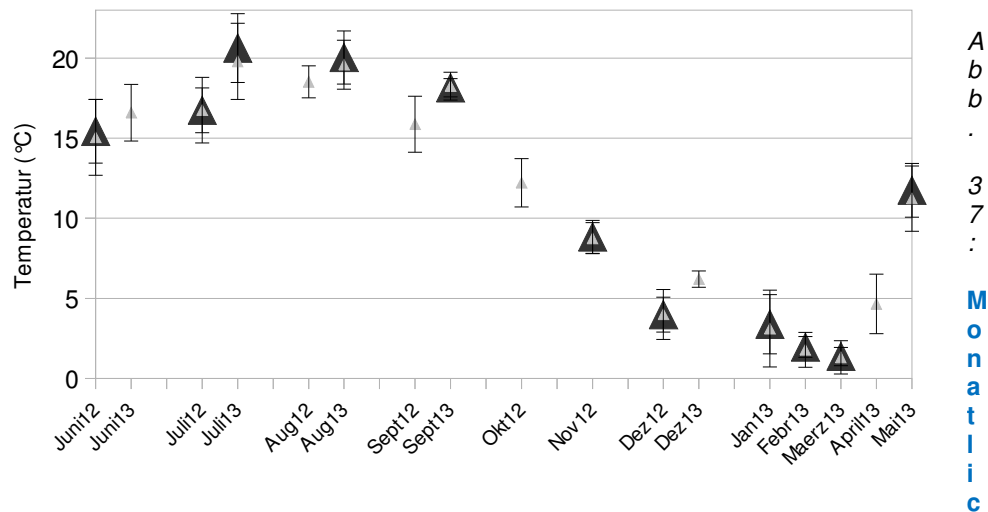


Abb 37: Wassertemperaturen in Brodten1 (dunkelgrau) und Brodau (hellgrau) in der Lübecker Bucht von Juni 2012 bis Dezember 2013; Mittelwerte und Standardabweichungen von stündlichen Messwerten

Licht

Die in Kap. 8.1 für die Kieler Bucht erwähnten Lichtintensitäten (Literatur-Werte) wurden auch an den Standorten Brodten1 und Brodau in der Lübecker Bucht erreicht, sowohl ausreichend für das Wachstum im Frühling und Sommer (vgl. dazu Abb. 15b, *Fucus*-Längen) als auch für die Photosynthese-Kompensation im Winter. Die Lichtmesswerte unterschieden sich an den beiden Standorten vor allem im ersten Projektjahr (2012). In Brodten1 lieferten die Logger recht verlässliche Werte, bei den Monitorings waren sie sauber und schienen wie „gesandstrahlt“. In Brodau waren die Lichtintensitäten insgesamt geringer und schon 4 Tage nach dem Ausbringen des Loggers nicht mehr aussagekräftig (s. Abb. 38). In den Sommermonaten 2012 und 2013 erreichten die Lichtintensitäten höhere Maximalwerte in Brodten1 als in Brodau (40.000 Lux vs. 12.000 Lux); in Brodau wurden bei den Tauchuntersuchungen vermehrt fädige Algen, auch auf dem Lichtlogger, gesichtet. In Brodten1 gab es Einbrüche in den Lichtintensitäten, die mit der hohen Sedimentdynamik einhergingen; z.B. wurde vom 1.-23.1.2013 kein Licht gemessen, vom 24.-31.1. erreichten die Lichtwerte bis zu 4000 Lux; bei der Tauchuntersuchung am 26.1. konnte ein Sandabtrag von -6 cm gemessen werden. Ab dem 31.1. wurde wieder kein Licht gemessen (bis auf 5 Stunden mit bis zu 160 Lux am 12.2.); beim Monitoring am 14.2. wurde eine Sandauflage von +5 cm registriert (vgl. Abb. 27).

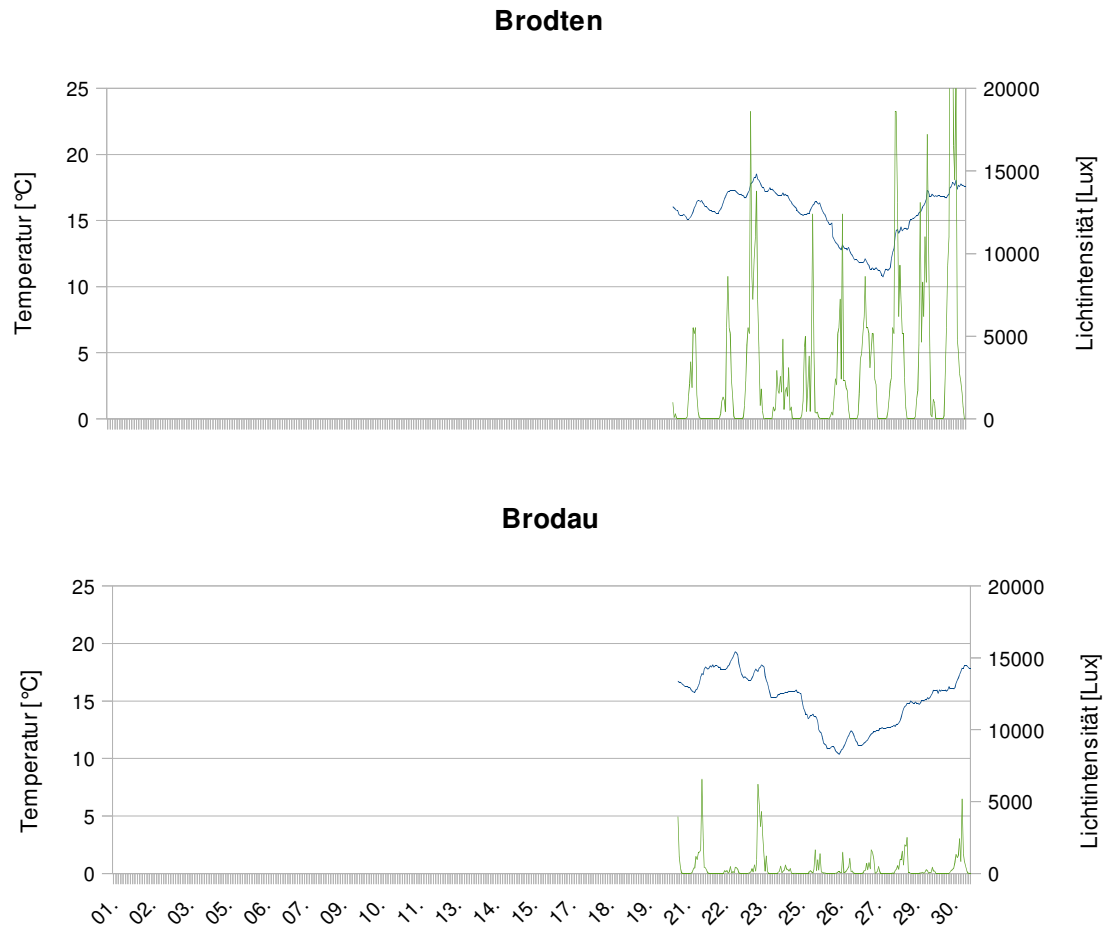


Abb. 38: Stündliche Temperatur- (blau) und Lichtwerte (grün) an den Standorten Brodten und Brodau (Lübecker Bucht) vom 20.-30. Juni 2012

Salzgehalt

In Abb. 39 sind die Salinitäten der Standorte Brodten1 und Brodau von Juni 2012 bis Mai 2014 dargestellt. Es gab keine signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen Salzgehalten an beiden Standorten. In Brodten1 betrug der mittlere Salzgehalt im Jahr 2012 9 (± 2), im Jahr 2013 11 (± 2), im Jahr 2014 wieder 11 (± 3). In Brodau wurden im Jahr 2012 durchschnittliche Salinitäten von 11 (± 2) gemessen, im Jahr 2013 12 (± 1). An beiden Standorten gab es teilweise sehr starke Salzgehaltsschwankungen.

In Brodten1 könnten diese Schwankungen z.B. vom 20.06.2012 bis 25.04.2013 ihre Ursache in Mess-Interferenzen haben, da sich der Salzlogger zu nah an den Eisenstreben des Gullideckels befand. Außerdem lag der Sensor meist frei (nach oben hin offen), so dass mehrfach protokollierte Sandauflagen und auch Aufwuchs von *Mytilus* (13.11.2012) bzw.

Balaniden (11.08.2013) die Salzmessungen gestört haben könnten. Am 5.+6. Juli 2012 war ein starker Salzgehaltseinbruch am Standort Brodten1 von vorher durchschnittlich 10 auf 3 zu sehen. Bis August 2012 lag der Salzgehalt im Mittel immer über 10 (± 1). Bis 13. November 2012 sank die Salinität kontinuierlich bis durchschnittlich <8 , mit einzelnen Einbrüchen auf <4 . Diese unnatürlich niedrigen Werte gingen, wie auch bei den Lichtintensitäten, ebenfalls mit der hohen Sedimentdynamik in Brodten1 einher (vgl. Abb. 27) : Z.B. wurde am 14.02.2013 eine Sandauflage von +5 cm gemessen; die Salzwerte in den 3 Wochen davor lagen unter 5 psu; nach dem Freilegen, Säubern und Auslesen des Salzloggers wurden wieder Werte um 13 psu gemessen.

Am Standort Brodau wurde ein Salzgehaltseinbruch vom 18.-26. Juli 2012 von vorher 10 auf unter 6 psu gemessen. Am 26.7. wurde im Rahmen des Monitorings der Gullideckel unter Wasser hochkant vorgefunden, der Salinitätslogger steckte im Sediment. Nach der Wiederausrichtung des Loggers wurde bis zum 2.9.2012 kein derartig starker Einbruch mehr gemessen. Die extrem niedrigen Messwerte in Brodau von November 2012 bis Januar 2013 könnten Nachwirkungen einer mechanischen Einwirkung auf den Messlogger gewesen sein. Nach dem Auslesen am 14.02. und 25.04.2013 wurden die Werte bis einschließlich 27.06.2013 korrigiert mithilfe einiger Wasserproben vom Standort und Referenzmessungen im Labor von CRM.

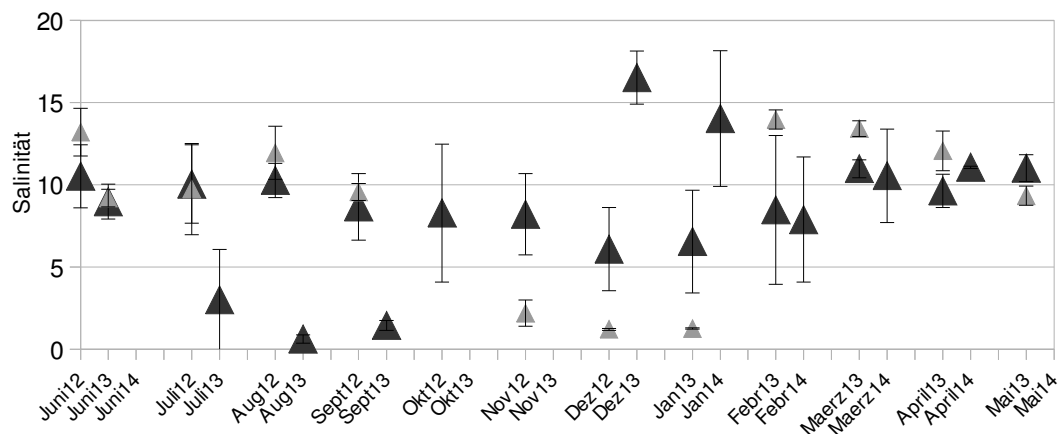


Abb. 39: Monatliche Salzgehalte in Brodten1 (dunkelgrau) und Brodau (hellgrau) in der Lübecker Bucht von Juni 2012 bis Mai 2014; Mittelwerte und Standardabweichungen aus halbstündlichen Messungen; Messfehler bei Salinitäten <5 (Interferenzen bzw. Ausfälle durch Versanden)

9 Fazit und Ausblick

Die für das Projekt „Blasentang & Klima“ angestrebten Ziele (vgl. Kap. 1.4) werden im Folgenden zusammengefasst:

I. Eignung von *Fucus vesiculosus* für eine Versetzung:

Der Blasentang eignet sich für eine Versetzung, sowohl innerhalb eines Seegebietes (Kieler Förde, vom Westufer zum Ostufer), als auch über weitere Entfernungen mit deutlicheren hydrographischen Unterschieden z.B. im Salzgehalt (Kieler Bucht → Lübecker Bucht). An allen 6 Standorten wurde ein Wachstum des Blasentangs in den ersten Wochen nach dem Versetzen beobachtet, und in der Kieler Bucht auch ein Aussäen der ausgebrachten adulten *Fucus*-Algen an zwei Standorten (Mönkeberg, Ölberg). Der Vermehrungskreislauf konnte hier geschlossen werden, da die ausgesäten *Fucus*-Keimlinge weiter wuchsen, zur Reife kamen und im darauffolgenden Jahr wiederum Keimlinge auf den Steinen entdeckt wurden. Die adulten *Fucus*-Algen verkümmerten an den 4 Standorten in der Kieler Bucht und erholten sich auch nicht mehr nach dem Winter. Diese Degradation erfolgte nach dem starken Aufwuchs durch Epiphyten und Epizoen im Sommer. Negative Standortbedingungen waren neben biotischer auch abiotischer Natur, z.B. gab es deutliche Detritus-Ablagerungen auf dem Blasentang an den strömungsberuhigten Standorten Hasselfelde und am GKK. An diesen beiden Standorten konnte sich der ausgebrachte Blasentang nicht aussäen bzw. etablieren, die vereinzelt gesichteten Keimlinge wurden wahrscheinlich überwachsen und beschattet. Auch mussten sie aus einer anderen Quelle stammen als von den ausgebrachten adulten *Fucus*-Algen, die zu diesem Zeitpunkt (Frühjahr und Sommer 2013) schon verkümmert waren und keine Rezeptakel besaßen. In Hasselfelde gibt es am 50 m entfernten Ufer natürliche *Fucus*-Bestände, am GKK sind diese ca. 5-10 m entfernt vom jeweils angelegten *Fucus*-„Garten“. In der Literatur wurde eine kleinräumigere Verteilung der Zygoten beschrieben (0,5 bis 2 m; s. Berger *et al.* 2001) als hier im Rahmen dieses Projektes beobachtet.

Für zukünftige mögliche Anpflanzungen, z.B. im Rahmen von ökologischen Ausgleichsmaßnahmen, sollte darauf geachtet werden, dass die Versetzungsaktion zur Reifezeit der *Fucus*-Algen erfolgt (v.a. im Frühjahr, in einigen Gebieten auch im Herbst), damit das Etablieren des Blasentangs durch den Kreislauf von Wachstum und Vermehrung gewährleistet wird. Das Ausbringen von gesunden, kräftigen *Fucus*-Algen im Spätsommer oder Herbst hat den Vorteil dass weniger Konkurrenz- bzw. Aufwuchsalgen vorhanden sind.

Eine andere Möglichkeit ist die Versetzung mit natürlichen oder im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlingen. Hierfür sind die Standortbedingungen wichtig; in der Kieler Bucht konnten angezüchtete *Fucus*-Keimlinge aus dem Labor in Mönkeberg wachsen und im Folgejahr zur Reife gelangen. Am GKK wurden die *Fucus*-Keimlinge nach 9 Monaten von einer Detritusschicht begraben und/oder weggefressen. Auch in der Lübecker Bucht (Brodten2, Brodau2) überlebten und wuchsen die im Labor reproduzierten *Fucus*-Keimlinge nur 5-6 Monate bis zum Wegfraß. Inwiefern die Versetzungsaktion aus der Kieler Bucht in die Lübecker Bucht den Blasentang z.B. in seiner Abwehr gegen Aufwuchs und Fraß geschwächt hat, wird zur Zeit untersucht. Am Standort Brodten2 wurden im Frühjahr 2014 je 10 Steine mit *Fucus* sowohl aus Kiel als auch aus Neustadt ausgebracht und wöchentlich begutachtet (insgesamt 5 Tauchuntersuchungen).

II. Verhalten von *Fucus vesiculosus* nach der Versetzung:

Hier gab es sowohl saisonale Unterschiede in den Jahreszeiten und einzelnen Projektjahren an den jeweiligen Versetzungsstandorten, als auch räumliche Unterschiede im Vergleich zwischen der Kieler Bucht und Lübecker Bucht und der jeweilige Standorte untereinander (s. Ergebnisse Kap. 5).

Der Vergleichsstandort Mönkeberg in der Kieler Bucht unterschied sich deutlich von den Standorten Hasselfelde und GKK, aber nicht vom Standort Ölberg; dieser zeigte bezüglich der untersuchten Parameter Sedimentation, Aufwuchs und Fraß die geringsten „Störungen“. Ein möglicher Grund könnte die strömungsexponiertere Lage am Ölberg sein, so dass z.B. Detritus und fädige Algen sich nicht dauerhaft auf dem Blasentang absetzten. Die Degradation des versetzten *Fucus* durch die beobachteten biotischen und abiotischen Parameter scheint weiterhin mit der Eutrophierung zusammenzuhängen. Ein Gradient in der Nährstofffracht von der Kieler Innenförde nach Norden zeigte sich an den Standorten Hasselfelde und GKK durch zunehmende Detritusfracht und aufwachsende bzw. driftende fädige Algen.

An den Standorten in der Lübecker Bucht wurde nur ein geringes Wachstum der Blasentange einige Wochen nach dem Versetzen verzeichnet. Aufgrund der hohen Sedimentdynamik und auch des Fraßdruckes konnten sich die ausgebrachten *Fucus*-Algen (Adulte und im Labor produzierte Keimlinge, sowie im Freiland ausgesäte Keimlinge in den zweiten Ansätzen) nicht dauerhaft etablieren (vgl. Eriksson & Johansson 2003).

III. Einfluss der Temperatur auf das Verhalten von *Fucus vesiculosus* bei der Versetzung in Anbetracht der durch den Klimawandel hervorgerufenen Effekte (Kieler Bucht):

Der gemessene Temperaturgradient schien keinen direkten Einfluss in positiver oder negativer Form auf den versetzten *Fucus* zu haben. Eine zukünftige Erhöhung der

Wassertemperatur um einige Grad im Rahmen des prognostizierten Klimawandels wird den Blasentang wahrscheinlich nicht direkt schädigen, aber auch nicht begünstigen. Höhere Temperaturen führen im Allgemeinen zu rascherer Vermehrung sowohl von fädigen Algen als auch von Grazern (vgl. Worm & Sommer 2000). Die Temperaturtoleranz von *Fucus* wird zudem abhängig sein von weiteren hydrographischen Bedingungen (Licht, Salinität, Strömung, Exposition), biologischen Interaktionen (neben Aufwuchs und Fraßdruck auch Konkurrenz) und internen (genetischen) Faktoren (vgl. Rohde *et al.* 2004, Pehlke *et al.* 2008, Maczassek 2011, Bobsien 2014).

IV. Suche nach Gründen des Verschwindens von *Fucus* in der Lübecker Bucht:

An den Standorten Brodtener Ufer und Brodau konnten zwei Gründe für das Nicht-Vorhandensein bzw. Nicht-Etablieren des Blasentangs gefunden werden. Erstens die hohe Sedimentdynamik und zweitens der Fraßdruck. An anderen, vergleichbaren Standorten in der Lübecker und auch Kieler Bucht mit Steilküsten und höherer Wellenexposition gibt es auf dem vorhandenen Hartsubstrat aktuelle *Fucus*-Vorkommen (z.B. Ostküste Fehmarn, Neustadt, Niendorf; Schilksee, Dänisch-Nienhof). Zudem sind die Arten und Dichten der potentiellen *Fucus*-Grazer vergleichbar (Asseln in Lübecker Bucht, Schnecken in Kieler Bucht, je nach Jahreszeit jeweils Skala 1-3). Anscheinend spielen das räumliche und zeitliche Auftreten sowie die Intensität dieser *Fucus*-limitierenden Faktoren (z.B. vermehrte Sturmereignisse aufgrund des Klimawandels, Raumkonkurrenz mit *Mytilus edulis*) eine wichtige und schwer zu quantifizierende Rolle.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich *Fucus vesiculosus* für eine Versetzung eignet. Die Entnahme, das Markieren und Versetzen des Blasentangs (auch in den zweiten Ansätzen) waren erfolgreich, ebenso das Erstellen einer Skala für das Monitoring, die Untersuchungen unter Wasser, incl. fotografischer Dokumentation, und die Verwendung der permanenten Messlogger sowie deren Auswertung. Einschränkend ist zu bemerken, dass es einige technische Ausfälle gab, vor allem bei den Salzloggern, was auch der hohen Sedimentdynamik in der Lübecker Bucht geschuldet war. Zudem hatte die Reinigung, der regelmäßige Austausch der Temperatur- und Lichtlogger, sowie die Wartung der Messgeräte neben den Regel- Untersuchungen einen erhöhten Tauch- und Kostenaufwand zur Folge.

Es wurden insgesamt 7 bzw. 10 Monitoring-Untersuchungen in der Kieler bzw. Lübecker Bucht durch CRM durchgeführt. Die Zusammenarbeit mit den Lübecker Sporttauchern war sehr verlässlich und vorbildlich in der Kommunikation. Durch ihr Engagement konnten weitere 10 Monitoring-Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes in der Lübecker Bucht erfolgen.

10 Literatur

- ⤴ S. Bäck, J.C. Collins & G. Russell (1992): Effects of salinity on growth of Baltic and Atlantic *Fucus vesiculosus*. Brit. Phycol. J. 27:1, 39-47
- ⤴ S. Bäck & A. Ruuskanen (2000): Distribution and maximal growth depth of *Fucus vesiculosus* along the Gulf of Finland. Mar. Biol. 136: 303-307
- ⤴ R. Berger, T. Malm, L. Kautsky (2001): Two reproductive strategies in Baltic *Fucus vesiculosus* (Phaeophyceae). Eur. J. Phycol. 36, pp. 265-273
- ⤴ I. Bobsien (2014): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf den Blasentang (*Fucus vesiculosus*) und das Gewöhnliche Seegras (*Zostera marina*) in der Ostsee. RADOST-Berichtreihe, Bericht Nr. 24. 39 S.
- ⤴ G. M. Bock, F. Thiermann, H. Rumohr, R. Karez (2003): Ausmaß der Steinfischerei an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste. Jahresbericht Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, S. 111-116
- ⤴ G. Breuer & W. Schramm (1988): Changes in macroalgal vegetation of Kiel Bight (Western Baltic Sea) during the past 20 years. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 6, S. 241-255
- ⤴ CRM (2002): Endbericht zur wissenschaftlichen Begleituntersuchung des künstlichen Riffs bei Hasselfelde. Im Auftrag der Seehafen Kiel GmbH. Dezember 2002. 19 S.
- ⤴ CRM (2002): Gutachterliche Stellungnahme. Entwicklung einer Ausgleichsmaßnahme für den Bau einer Kaianlage am Gemeinschaftskraftwerk Kiel. Im Auftrag der GKK Kiel GmbH. September 2002, 9 S.
- ⤴ CRM (2007): Ausgleichsmaßnahme bei Mönkeberg im Rahmen des Cruise & Ferry Terminal-Baus. Nachuntersuchung nach der Ausführung. Im Auftrag der Seehafen Kiel GmbH. Dezember 2007, 9 S.
- ⤴ CRM (2010): Ausgleichsmaßnahme bei Mönkeberg im Rahmen des Cruise & Ferry Terminal-Baus - Nachkontrolle nach 2 Jahren. Im Auftrag der Seehafen Kiel GmbH. März 2010, 9 S.
- ⤴ CRM (2010): Bericht zur Durchführung einer Ausgleichsmaßnahme zum Bau einer Spundwand am Bollhörnkai, Kiel. Versetzung von mit *Fucus* bewachsenen Steinen. Im Auftrag der Seehafen Kiel GmbH. Juli 2010, 4 S. Ergänzung im Oktober 2010, 5 S. 2. Ausgabe im August 2011, 7 S.
- ⤴ CRM (2011): Erste Nachkontrolle der Versetzung von mit *Fucus* bewachsenen Steinen auf die Ausgleichsfläche vor Mönkeberg. Im Auftrag der Seehafen Kiel GmbH. Juli 2011, 9 S.
- ⤴ CRM (2011): Zweite Nachkontrolle der Versetzung von mit *Fucus* bewachsenen Steinen auf die Ausgleichsfläche vor Mönkeberg. Im Auftrag der Seehafen Kiel

GmbH. Dezember 2011, 11 S.

- ⤴ CRM (2012): Blasentang und Klima. Im Auftrag des LLUR Flintbek. Erster Zwischenbericht 01.06.-30.11.2012, 65 S. (ohne Anhang)
- ⤴ CRM (2013): Blasentang und Klima. Im Auftrag des LLUR Flintbek. Zweiter Zwischenbericht 01.06.2012-30.11.2013, 55 S. (ohne Anhang)
- ⤴ B.K. Eriksson & G. Johansson (2003): Sedimentation reduces recruitment success of *Fucus vesiculosus* (Phaeophyceae) in the Baltic Sea. Eur. J. Phycol. 38: 217 – 222.
- ⤴ R. Karez & D. Schories (2005): Die Steinfischerei und ihre Bedeutung für die Wiederansiedlung von *Fucus vesiculosus* in der Tiefe. Rostock. Meeresbiolog. Beitr. Heft 14, S. 95-107
- ⤴ MariLim (2008): Kartierung mariner Pflanzenbestände im Flachwasser der Ostseeküste – Schwerpunkt *Fucus* und *Zostera*. Herausgegeben vom LANU S.-H. 310 S.
- ⤴ C. Pehlke, Selig, U. & H. Schubert (2008): Verbreitung und Ökophysiologie von *Fucus*-Beständen der Mecklenburger Bucht (südliche Ostseeküste). Rost. Meeresbiol. Beitr. Heft 20, S. 123-142
- ⤴ 2. RADOST-Jahresbericht April 2010-März 2011, S. 31-32, Ivo Bobsien: Anwendungsprojekt: Qualitätskomponenten zur WRRL: Bestandsunterstützung Seegras und Blasentang
- ⤴ Rohde, M. Molis, M. Wahl (2004): Regulation of anti-herbivore defence by *Fucus vesiculosus* in response to various cues. J. Ecol. 92, 1011–1018
- ⤴ H. Schwenke (1969): Meeresbotanische Untersuchungen in der westlichen Ostsee als Beitrag zu einer marinen Vegetationskunde. Int. Revue ges. Hydrobiol. 54, S. 35-91
- ⤴ H. Vogt & W. Schramm (1991): Conspicuous Decline of *Fucus* in Kiel Bay (Western Baltic): What Are The Causes? Mar. Ecol. Prog. Ser. 69, pp. 189-194

Impressum

Herausgeber

Ecologic Institut gemeinnützige GmbH
Pfalzburger Str. 43/44
10717 Berlin
www.ecologic.eu

Inhalt erstellt durch:

Coastal Research and Management (CRM)
Tiessenkai 12, 24159 Kiel
verena.sadow@crm-online.de

Web

<http://www.klimzug-radost.de>

Bildrechte

© CRM

ISSN 2192-3140

Das Projekt "Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste" (RADOST) wird im Rahmen der Maßnahme „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ (KLIMZUG) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert

